Akademie der Wissenschaften.

Gesammtsitzung vom 20. December 1860.

Hr. du **Bois-Reymond** legte das Ergebnifs seiner Untersuchungen **über den secundären Widerstand** vor, **ein durch den Strom bewirktes Widerstandsphänomen an feuchten porösen Körpern**, worüber er bereits in der Gesammtsitzung am 19. April d. J. eine vorläufige Mittheilung gemacht hatte (S. oben S. 172).

§. I. Einleitung.

In meiner ersten Mittheilung über die innere Polarisation poröser, mit Elektrolyten getränkter Halbleiter[1]) habe ich es zweifelhaft gelassen, ob diese Polarisation im Kreise der Säule selber, die sie hervorrief, mit gewöhnlichen Hülfsmitteln bemerkt werden könne. Ich hatte damals besondere Beobachtungen über den Gang des ursprünglichen Stromes während des Polarisirens, nach dem Entladen u. s. f. noch nicht angestellt. Meist hielt ich den Strom nicht länger geschlossen als nöthig war um zu entscheiden, ob der ihm ausgesetzte feuchte poröse Körper innere Polarisation in bemerkbarem Grade annehme oder nicht, wozu wenige Minuten ausreichten. Auch befand sich im ursprünglichen Kreise, zur Aufsicht über die Säule, nur ein Vertical-Galvanoskop von **Siemens** und **Halske**, wie sie in den Telegraphenbureaus angewandt werden. Allein es war mir unter diesen Umständen bereits eine räthselhafte Erscheinung aufgestofsen, die zu weiteren Nachforschungen aufforderte. Es zeigte sich nämlich häufig, bei Gegenwart der innerlich polarisirbaren Körper im Kreise, dafs der ursprüngliche Strom, trotz den sorgfältigsten Vorkehrungen, nicht beständig blieb. Sobald ich die Kette irgend länger geschlossen liefs, sank die Ablenkung an dem Vertical-Galvanoskop um einen oft sehr ansehnlichen Bruchtheil, näherte sich aber wieder ihrem ursprünglichen Werthe, wenn die Kette einige Zeit offen gehalten wurde. Die Schwächung des Stromes, die bei längerer Schlie-

[1]) Diese Berichte, 1856. S. 450; — **Moleschott's** Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. IV. 1858. S. 158; — *Annales de Chimie et de Physique. 1860. 3me Série. t. LVIII. p. 318.*

fsung eintrat, war meist viel zu beträchtlich, um sie auf die elektromotorische Gegenkraft der inneren Polarisation beziehen zu können, wollte man nicht dieser Kraft, während der Dauer des ursprünglichen Stromes, eine beispiellose Gröfse, und nach Aufhören desselben, eine ebenso beispiellose Flüchtigkeit beimessen. Und doch war nichts leichter, als sich davon zu überzeugen, dafs die Unbeständigkeit des Stromes allein von der Gegenwart der feuchten porösen Körper im Kreise herrührte. Wurden die mit gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung gefüllten Zuleitungsgefäfse, worin die Kupferelektroden der Säule tauchten, unmittelbar durch ein mit derselben Lösung gefülltes Schliefsungsrohr, oder die mit jener Lösung getränkten Zuleitungsbäusche durch einen eben solchen Schliefsungsbausch verbunden, so sah man die Nadel, so lange und so genau als nur zu erwarten war, auf dem Theilstrich verharren auf den sie sich nach ihren ersten Schwingungen eingestellt hatte.

Um diesen Umstand aufzuklären und um zugleich der inneren Polarisation in dem ursprünglichen Kreise selber nachzugehen, wurde jetzt in diesen Kreis, anstatt des Vertical-Galvanoskops, die früher [1]) erwähnte Wiedemann'sche Bussole mit magnetischem Spiegel, dämpfender Kupferhülse und verschiebbaren Rollen aufgenommen. Diese Art von Bussolen eignet sich, der darin stattfindenden starken Dämpfung halber, ganz besonders dazu, den Gang eines unbeständigen Stromes zu verfolgen, während der grofse Spielraum ihrer Empfindlichkeit hier gleichfalls von Nutzen wird. Auch ist es gelegentlich von grofsem Vortheil, dafs man beiderseits vom Spiegel eine Rolle, ja, wenn man will, mehrere Rollen hintereinander anbringen, und so, ohne das Auge vom Fernrohr zu wenden, mittels einer passenden Schaltung abwechselnd den Strömungsvorgang in zweien, beziehlich mehreren Kreisen überwachen kann. Die Bussole war bei diesen Versuchen gewöhnlich mit nur wenigen Windungen (53 oder 106) versehen. Ein Pohl'scher Stromwender wurde ferner so angebracht, dafs er die Richtung des Stromes in den Zuleitungsgefäfsen und den dazwischen befindlichen feuchten porösen Körpern umkehrte, während sie in der Bussole die-

[1]) Diese Berichte, 1859, S. 452.

selbe blieb. Er war an den Tisch befestigt, und seine Wippe drehte sich, wie stets an meinen Stromwendern, um eine feste Axe, so dafs die Zeit zwischen dem Öffnen des Stromes in der einen und dem erneuten Schliefsen desselben in der anderen Richtung nicht nur durch passende Anfüllung der Quecksilbernäpfe, sondern auch durch rasche Bewegung der Wippe möglichst klein gemacht werden konnte. Bei der langen Dauer vieler der folgenden Versuche war es nothwendig, sich überzeugen zu können, dafs die Säule an sich beständig geblieben sei. Dies geschah mit Hülfe einer Schaltung, welche an Stelle der Zuleitungsgefäfse und des zwischen denselben befindlichen feuchten porösen Körpers, einen solchen metallischen Widerstand in den Kreis der Säule und der Bussole und zugleich eine solche Nebenschliefsung zu letzterer anbrachte, dafs die Ablenkung eine angemessene Gröfse besafs.

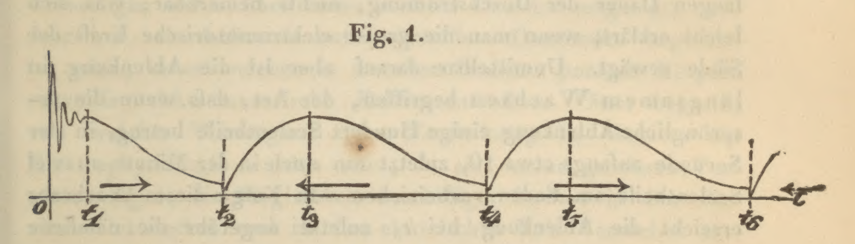
Mit diesen vollkommneren Mitteln bestätigte ich nun zunächst die Thatsache, dafs bei Abwesenheit eines feuchten porösen Körpers im Kreise, wenn entweder die Bäusche einander berührten, oder ein Schliefsungsrohr die Zuleitungsgefäfse verband, der Strom ganz beständig blieb. Nicht nur sank die Ablenkung nicht, auch bei noch so langer Dauer der Schliefsung, innerhalb der durch die Natur der Dinge gesteckten Grenzen, sondern man sah sie anfangs sogar bis zu einem gewissen Punkte wachsen, unstreitig in Folge der mit der Hand fühlbaren Erwärmung des Schliefsungs-Rohres oder -Bausches. Wurde die Wippe umgelegt, so sah man den Spiegel um ein paar Scalentheile zurückweichen, und dann äufserst nahe wieder seine vorige Stellung einnehmen. Kupfer in gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung ist zwar der Polarisation nicht ganz unfähig [1]); allein diese Polarisation ist doch zu klein, als dafs der daraus entspringende Zuwachs an elektromotorischer Kraft in den ersten Augenblicken nach der Umkehr des Stromes in den Zuleitungsgefäfsen, selbst bei nur Einer Grove'schen Kette im Kreise, vermocht hätte, den Ausfall an ablenkenden Kräften während des Umlegens der Wippe zu decken, geschweige zu überwiegen.

---

[1]) Diese Berichte, 1859. S. 459. 460. 480.

Um die Erscheinung, um die es sich im Folgenden handeln wird, sofort in deutlichster Ausprägung und in ihrer ganzen Gröfse kennen zu lernen, denke man sich jetzt zwischen die Zuleitungsbäusche ein Prisma aus hartgesottenem Eiweifs [1]) von den üblichen Mafsen [2]) gebracht, und eine zwanziggliederige Grove'sche Säule durch dasselbe geschlossen. Fig. 1 ist bestimmt, den Gang der Erscheinungen unter diesen Umständen zu versinnlichen. Die Abscissenaxe $0t$ stellt darin die Zeit vor, die Ordinaten bedeuten in Scalentheilen ausgedrückte, der Stromstärke proportionale Spiegelablenkungen.

Fig. 1.



Bei der Abscisse Null wird die Kette geschlossen. Nachdem der Spiegel sich beruhigt hat, erscheint die Ablenkung in den ersten Augenblicken manchmal beständig, anderemale wächst sie sogar, meist jedoch findet man sie sogleich im Sinken begriffen. Dies Sinken ist entweder anfangs noch langsam, und wird erst mit der Zeit geschwinder, oder es geht gleich von vorn herein mit reifsender Schnelle vor sich. Allmählig indefs wird in allen Fällen das Sinken langsamer, und endlich, oft erst nach 10—20 und noch mehr Minuten ist eine beständige Ablenkung erreicht. Jetzt ist von der ursprünglichen Stromstärke, wie man sie aus dem ersten Hin- nnd Hergang des Scalenbildes folgern kann, oft nicht mehr als der zehnte Theil übrig, wie man bei t_2 in der Figur sieht.

Wird nun die Wippe umgelegt, wie der Pfeil in der Figur andeutet, so könnte man erwarten, einen mächtigen Aus-

---

[1]) Ich verschaffe mir ein solches, indem ich Eiweifs in geölten Reagirgläsern im Wasserbade zum Gerinnen bringe, den Boden des Glases zertrümmere, und den Eiweifscylinder mittels eines Stempels ausstofse. (Vergl. diese Berichte, 1856. S. 462.)

[2]) Diese Berichte, 1856. S. 455.

schlag erfolgen zu sehen, da es scheint als habe sich in dem Kreise eine bedeutende elektromotorische Gegenkraft entwickelt. Man sagt sich indessen schon, wie unwahrscheinlich es sei, dafs dieselbe in einer 50^{mm} langen Strecke geronnenen Eiweifses der Kraft von achtzehn Grove'schen Gliedern gleichkommen solle. Der Versuch liefert denn auch ein ganz anderes Ergebnifs. Man beobachtet nämlich im Augenblick des Umlegens nur einen kleinen negativen Ausschlag, der von dem Ausfall an ablenkenden Kräften während des Umlegens herrührt (S. die Figur bei t_2). Von der inneren Polarisation wird also, trotz der langen Dauer der Durchströmung, nichts bemerkbar, was sich leicht erklärt, wenn man die grofse elektromotorische Kraft der Säule erwägt. Unmittelbar darauf aber ist die Ablenkung in langsamem Wachsen begriffen, der Art, dafs wenn die ursprüngliche Ablenkung einige Hundert Scalentheile betrug, in der Secunde anfangs etwa 10, zuletzt nur noch in der Minute so viel Scalentheile am Faden vorbeiziehen. In Folge dieses Wachsens erreicht die Ablenkung bei t_3 zuletzt ungefähr die nämliche Gröfse wieder, die sie bei t_1, unmittelbar nach der ersten Schliefsung des Kreises, besafs. Allein abermals verweilt sie nur einen Augenblick auf dieser Höhe. Sofort beginnt das Sinken von Neuem, und findet zuerst langsam, dann schnell, dann wieder langsam statt, bis abermals die Ablenkung (bei t_4) einen unteren Grenzwerth erreicht hat, wo denn abermaliges Umlegen abermals langsames Wachsen der Stromstärke hervorruft. Und so kann man, so oft als die Natur der Dinge es zuläfst, diesen Wechsel der Erscheinungen beobachten.

Die nähere Ursache derselben ist nicht schwer anzugeben. Was das in einigen Fällen anfänglich bemerkbare Steigen der Ablenkung betrifft, welches sich andere Male nur als eine Verzögerung des bald überhand nehmenden Sinkens kundgiebt, so ist dasselbe wohl einerlei mit dem Steigen, welches man auch ohne das Eiweifsprisma, beim Schliefsen des Kreises durch ein mit der Kupferlösung gefülltes Rohr, wahrnimmt, d. h. es ist auf die Verminderung des Widerstandes der Elektrolyte durch Erwärmung zu schieben. Das darauf folgende Sinken aber, die Erscheinung also, die uns ursprünglich aufgefallen ist, kann von nichts herrühren, als von einem Widerstand, den der Strom in

der einen Richtung in dem Eiweifs entwickelt und den der Strom in der anderen Richtung wieder aufhebt. Dies folgt unwiderleglich aus der Wirkung des Umlegens der Wippe. Jenes so höchst sonderbare langsame Wiederanwachsen der Stromstärke läfst sich nur auf diese Art begreifen, während, wie schon bemerkt, der Erfolg im Fall einer elektromotorischen Gegenkraft, die den Grund des Sinkens enthielte, ein ganz anderer sein müfste.

Wir wollen diesen durch den Strom erzeugten Widerstand der Kürze halber den **secundären Widerstand** nennen, womit gar nichts über seine weitere Ursache ausgesagt, sondern nur sein Auftreten unter denselben Umständen angedeutet wird, unter welchen in manchen feuchten porösen Körpern secundär-elektromotorische Kräfte entstehen. Man begreift, von welcher Wichtigkeit diese Erscheinung im Gebiete der Elektrophysiologie werden kann, da sie, unter gewissen Voraussetzungen, die Möglichkeit beständiger Ströme in den thierisch-elektrischen und in den elektrischen Reiz-Versuchen ausschliefsen würde. Ich habe mich daher genöthigt gesehen, wie schon die Polarisation an der Grenze der Elektrolyte und die innere Polarisation der feuchten porösen Halbleiter, auch noch den secundären Widerstand, soweit es für diesen Zweck erforderlich war, zu ergründen: ein Geschäft, welches sich leider als eines der schwierigsten und, wegen der Dauer und Einförmigkeit der Versuche, auch der mühseligsten unter allen erwies, die mir im Lauf meiner Untersuchungen zugefallen sind. Nur die praktische Bedeutung der schliefslich hier aufgedeckten, an sich sehr unscheinbaren Thatsachen, für die Elektrophysiologie, kann mich mit den Opfern an Zeit und an Arbeitskraft, die ich diesem widerspenstigen Gegenstande habe bringen müssen, etwas aussöhnen.

§. II. Von den feuchten porösen Körpern, welche den secundären Widerstand zeigen.

Wir beginnen damit, uns eine Übersicht über die feuchten porösen Körper zu verschaffen, die den secundären Widerstand zeigen. Den zu untersuchenden Körpern wurde die Ge-

stalt eines Prisma's, wo es anging, von den schon erwähnten Mafsen (S. oben S. 849) ertheilt. Dies Prisma wurde zwischen die mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkten Zuleitungsbäusche gebracht, und von Grundfläche zu Grundfläche dem Strome der zwanziggliederigen Grove'schen Säule ausgesetzt. Auf die Fähigkeit der Substanz, secundären Widerstand anzunehmen, wurde stets erst geschlossen, wenn das charakteristische langsame Wachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe mindestens einmal bei jeder Richtung des Stromes beobachtet worden war.

Der Gesichtspunkt, der sich hier für die Untersuchung darbietet, ist der, ob sich eine Beziehung feststellen lasse zwischen der Empfänglichkeit der Körper für den secundären Widerstand und der für die innere Polarisation, oder ob die beiden Erscheinungen ganz gleichgültig neben einander her gehen. Wir schliefsen uns demgemäfs, bei der jetzt vorzunehmenden Musterung feuchter poröser Körper, der Reihenfolge an, welche sich uns bei der Erforschung der inneren Polarisation an die Hand gegeben hat. Gleich beim ersten Schritte findet sich, dafs zwischen dem secundären Widerstande und der inneren Polarisation vermuthlich gar kein Verhältnifs besteht.

I. Unorganische Körper. Kreide und Bimsstein zwar, lange in destillirtem Wasser gesotten, zeigten den secundären Widerstand spurweise. Modellirthon dagegen, welcher gleichfalls innerlich polarisirbar ist, liefs nichts davon wahrnehmen, wie lange auch Stäbe von den verschiedensten Mafsverhältnissen dem Strom ausgesetzt blieben. Quarzsand oder Schwefelblumen, mit Wasser zu einem Brei angemacht, geben keine innere Polarisation, und können grundsätzlich keine geben, weil das Verhältnifs der Leitungsfähigkeit des porösen Gerüstes zu der des Elektrolyten ein zu ungünstiges ist. Dies gilt namentlich für den Schwefelbrei, der lebhaft sauer (von Schwefelsäure) reagirte, und deshalb auch sehr viel besser leitete als das Wasser, womit er angerieben wurde. Dennoch liefsen diese Körper, in Röhren gestopft, deutlich secundären Widerstand erkennen. Ja der Quarzsand fuhr fort dies zu thun, selbst als ich ihn, statt

mit Wasser, mit verdünnter Schwefelsäure [1]) zu einem Brei anrührte. Hingegen mit einem Brei aus dem geschlemmten Sande der Königl. Porzellan-Manufactur [2]) und destillirtem Wasser ward kein secundärer Widerstand beobachtet.

II. Organische, nicht organisirte Körper. Gleich dem hartgesottenen Eiweifs, von dem bereits die Rede war, verhielt sich auch der durch Schlagen des Rinderblutes erhaltene Faserstoff, und der Blutkuchen vom nämlichen Thiere, sowie erstarrter Leim, dieser jedoch nur in gewissen Fällen, deren Bedingungen mir nicht klar geworden sind. Blutkuchen und Leim hatten keine innere Polarisation gegeben. Auch die Speckhaut von Pferdeblut zeigte secundären Widerstand.

Ein sonderbares Verhalten war das der Seife. Um regelmäfsige Stromeswirkungen durch Seife hindurch zu erzielen, ward es nöthig, Bögen daraus zu schnitzen und deren Enden in die Kupferlösung der Zuleitungsgefäfse zu tauchen. Beim Einklemmen von Prismen aus Seife zwischen die Zuleitungsbäusche entstanden nämlich stets Störungen, durch, wie es schien, sprungweise Veränderung des Widerstandes der Berührungsstellen der Seife mit den Bäuschen. Bei der angegebenen Anordnung sieht man die Stromstärke schnell um einen sehr ansehnlichen Bruchtheil abnehmen. Legt man die Wippe um, so erfolgt ein positiver Ausschlag, so lebhaft als ob es sich um Polarisation handelte, und ohne dafs sich danach langsames Wachsen einstellte. Man hat sich also wohl vorzustellen, dafs unter dem Einflufs des umgekehrten Stromes der secundäre Widerstand der Seife in einem Zeitraum schwinde, der kleiner ist als die Schwingungsdauer des Spiegels, da man der inneren Polarisation der Seife im ursprünglichen Kreise nur ungern die elektromotorische Kraft von vielen Grove'schen Gliedern, und zugleich eine solche Flüchtigkeit zuschreiben wird, dafs daraus erklärlich würde, weshalb nach Entfernung aus dem ursprünglichen Kreise die Seife keine ungewöhnlich starke innere Polarisation zeigt.

---

[1]) $SO_4H : HO :: 1 : 19$ und $:: 1 : 8$ dem Volum nach.

[2]) Vergl. diese Berichte, 1856. S. 21.

III. Organisirte Pflanzentheile. Prismen geschnitten aus Kartoffeln, Mohrrüben, Petersilienwurzeln, Äpfeln, Birnen, der saftige Stiel von Begonien, zeigten die Erscheinung in sehr ausgesprochener Weise. Minder schön trat sie an gesottenen Hölzern, Eichen-, Kien-, Mahagony-Holz, hervor, und noch weniger deutlich an einem in vollem Safte stehenden holzigen Zweige des Zuckerahorns, obschon solche Zweige gerade die heftigste innere Polarisation geben, die sich denn auch hier wirklich im ursprünglichen Kreise durch einen kleinen positiven Ausschlag beim Umlegen der Wippe bemerklich machte.

Mit destillirtem oder mit Brunnen-Wasser getränkte balkenförmige Fliefspapierbäusche nehmen secundären Widerstand in geringem Grade an. Tränkt man solche Bäusche mit der gesättigten Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd, schwefelsaurem Natron, Alaun, Chlornatrium, Chlorammonium, Quecksilberchlorid, oder mit käuflicher Kalihydratlösung, so wird auch beim längsten Durchströmen und bei irgend welchen Mafsverhältnissen der Bäusche kein secundärer Widerstand bemerkbar, so wenig als wären sie mit der Kupferlösung der Zuleitungsbäusche selber getränkt (s. oben S. 847. 848). Denselben Gegensatz im Verhalten des Fliefspapiers, je nachdem dasselbe mit Wasser oder mit dergleichen Lösungen getränkt wird, haben wir in Bezug auf die innere Polarisation beobachtet. Allein diese Übereinstimmung ist nicht durchgreifend. Tränkt man nämlich das Fliefspapier mit verdünnter Schwefel- oder Salpetersäure, wodurch es jede Spur innerer Polarisirbarkeit einbüfst, so ist der secundäre Widerstand gleichwohl sehr deutlich wahrnehmbar. Ausnehmend stark erscheint derselbe beim Tränken des Papiers mit neutraler chromsaurer Kalilösung, wobei an der Grenze der Kupferlösung ein brauner Niederschlag, wie mir Hr. Rammelsberg sagt, von basisch chromsaurem Kupferoxyd entsteht.

IV. Thierische Gewebe. Die Versuche wurden an frischen Gewebetheilen von Rindern oder Kälbern angestellt. Als Vertreter des Knochengewebes bei Versuchen dieser Art ist am bequemsten ein Stück Rippe, des Knorpelgewebes ein Stück Rippenknorpel, des Sehnengewebes eine der Beugesehnen an der Mittelhand, des elastischen Gewebes das Nackenband, der Nerven ein Stück Rückenmark. Aufserdem wurden geprüft

Streifen der Haut und prismatische Stücke Muskelfleisch, letztere sowohl roh als gekocht, und sowohl in der Faserrichtung als senkrecht darauf. Alle diese Theile zeigen die oben am hartgesottenen Eiweifs beobachteten Erscheinungen auf's Deutlichste ausgeprägt und im gröfsten Mafsstabe; mit Ausnahme des Knochens, der nur dann eine sichere Spur secundären Widerstandes zu entfalten scheint, wenn er ein mehr schwammiges Gefüge besitzt.

Diese Versuchsreihe genügt um zweierlei darzuthun, 1°. dafs die Fähigkeit, secundären Widerstand anzunehmen, den feuchten porösen Körpern sehr allgemein zukomme; 2. dafs, wie schon bemerkt, keine Beziehung zwischen derselben und der inneren Polarisirbarkeit obwalte.

§. III. Vom äufseren secundären Widerstande.

Wir wollen jetzt den Versuch machen, in die Natur des secundären Widerstandes etwas tiefer einzudringen. In dem Folgenden sollen, der Kürze halber, die Hälfte und das Ende des feuchten porösen Körpers, wo der Strom, ferner der Bausch, durch den er eintritt, die Eintrittshälfte, das Eintrittsende, der Eintrittsbausch, die entsprechenden Theile der anderen Seite die Austrittshälfte, das Austrittsende, der Austrittsbausch genannt werden.

Es bietet sich vor Allem die Frage dar, wo der Sitz des secundären Widerstandes sei. Ist es, was jetzt kaum wahrscheinlich däucht, wie bei der inneren Polarisation, jeder durchströmte Querschnitt des porösen Körpers? Oder sind es nicht vielmehr, wie bei der Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte, die Berührungsstellen dieses Körpers mit den Zuleitungsbäuschen?

Es ist, wenigstens in allen von mir geprüften Fällen, leicht sich zu überzeugen, dafs das letztere, wenn auch vielleicht nicht ausschliefslich, doch in überwiegendem Mafse stattfinde, und dafs namentlich das Eintrittsende unstreitig den bei weitem gröfsten Theil des secundären Widerstandes beherberge. Hat man den secundären Widerstand z. B. in einem Eiweifsprisma (s. oben S. 849) sich entwickeln lassen, schneidet man das Prisma in der Mitte quer durch, und prüft man

die beiden Hälften einzeln auf ihren Widerstand, so zeigt die Eintrittshälfte einen viel gröſseren Widerstand als die Austrittshälfte. Schneidet man von dem Austrittsende ein Stück von einigen Millimetern Länge ab, während das Eintrittsende an dem entsprechenden Bausch möglichst unverrückt liegen bleibt, so bleibt die Stromstärke nahe dieselbe. Sie erscheint nur vorübergehend sowohl als dauernd etwas gewachsen, das erstere, weil während der zum Abschneiden erforderlichen Zeit ein geringer Theil des secundären Widerstandes sich zerstreut hat, das letztere wegen der Verkürzung des Eiweiſsprisma's, als des am meisten widerstehenden Theiles des Kreises. Schneidet man aber ein gleich langes Stück vom Eintrittsende ab, so erreicht die Stromstärke plötzlich ihre ursprüngliche Gröſse ungefähr wieder, und es ist klar daſs der hauptsächlichste Theil des secundären Widerstandes beseitigt ist, denn das Sinken beginnt von Neuem ganz als ob der Kreis zum erstenmal geschlossen würde, oder als ob der secundäre Widerstand in Folge des Umlegens der Wippe geschwunden wäre. Sogar wenn wirklich in Folge des Umlegens der Wippe der secundäre Widerstand vollständig aufgehoben scheint und das Sinken eben wieder beginnen will, erhält man durch Abschneiden des Eintrittsendes noch eine ansehnliche Verstärkung des Stromes. Bringt man, an Stelle des vom Eintrittsende befreiten Prisma's, dies abgeschnittene Ende selber zwischen die Zuleitungsbäusche, so zeigt sich daſs es den Strom fast ebenso sehr schwächt, als das ganze noch damit versehene Prisma that. Daſs durch die bloſse Berührung der Zuleitungsbäusche mit den Enden des Prisma's, ohne Mitwirkung des Stromes, nichts dem secundären Widerstande Ähnliches herbeigeführt werde, versteht sich aus mehrfachen Gründen von selbst, und wird durch die Erfahrung bestätigt.

Hat man, anstatt den Grundflächen des Eiweiſsprisma's die Zuleitungsbäusche, zweien Punkten der Seitenflächen des Prisma's Keilbäusche[1]) angelegt, und rückt man, nach entwickel-

[1]) Die Keilbäusche haben schon in früheren Mittheilungen (S. diese Berichte, 1856. S. 452; — 1859. S. 95 und anderwärts) eine ansehnliche Rolle gespielt, und ihre Bedeutung in dieser Abhandlung und in einigen

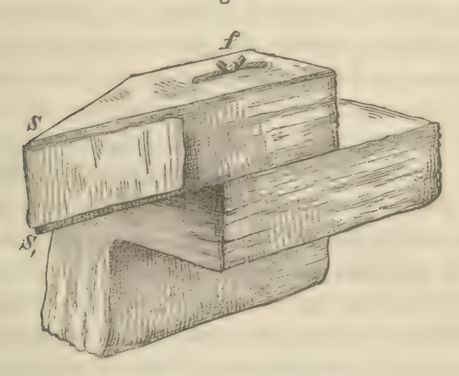
tem secundären Widerstande, den Austrittsbausch von der Stelle, so findet keine bemerkenswerthe Veränderung der Stromstärke statt. Dagegen erscheint der secundäre Widerstand alsbald beseitigt, und das Sinken beginnt von Neuem, wenn man den Eintrittsbausch einer neuen Stelle anlegt. Innerhalb gewisser Grenzen, die von dem Verhältnifs des Widerstandes der Eiweifsstrecke zwischen den Keilbäuschen zum Widerstande des übrigen Kreises abhangen, ist es dabei gleichgültig, ob die neue Stelle, der man den Aus- oder Eintrittsbausch anlegt, nach aufsen oder nach innen liegt, d. h. ob man die Eiweifsstrecke zwischen den Keilbäuschen verlängert oder verkürzt.

Durch ähnliche Versuche habe ich mich überzeugt, dafs auch beim Leim und der Seife; beim Knorpel, der Haut und dem Muskelfleisch des Rindes; beim Gewebe der Kartoffel und der Birne; endlich bei den mit verdünnter Schwefelsäure oder

---

folgenden wird so grofs, dafs ich nicht länger zögern darf, dieselben dem Leser zu versinnlichen. Man sieht in Fig. 2. einen Keilbausch einem ge-

Fig. 2.



wöhnlichen Zuleitungsbausch aufsitzen. Er ist daran befestigt mittels eines Fadens, den man in *f* unterscheidet, und der durch zwei den Keil- und Zuleitungsbausch durchbohrende Löcher geführt ist. Die etwa 15^{mm} lange Schneide des Keilbausches ss_1 ist mit einem Eiweifshäutchen bekleidet vorgestellt. Damit dasselbe in der dadurch bedingten scharfen Krümmung verharre, mufs es den Seiten des Keils in einiger Länge anhaften. Ich pflege die Eiweifshäutchen für diesen Zweck 40^{mm} lang zu schneiden.

mit gesättigter chromsaurer Kalilösung getränkten Bäuschen das Eintrittsende der vornehmste Sitz des secundären Widerstandes ist. Es kann sich also nur noch darum handeln, ob, wie es oft den Anschein hat, hier wirklich der ganze secundäre Widerstand hause, so dafs derselbe nur ein äufserer sein würde, oder ob ein Theil davon vielleicht auch noch über das Innere des feuchten porösen Körpers verbreitet sei.

§. IV. Vom inneren secundären Widerstande.

Um hierüber zu entscheiden, wollen wir uns zunächst an zwei dergleichen Körper heften, welche beide den Vortheil bieten, dafs man sie sich jederzeit leicht von wesentlich gleicher Beschaffenheit und in passender Gestalt verschaffen kann; an das hartgesottene Eiweifs, welches uns schon vorher als Typus eines des secundären Widerstandes fähigen Körpers gedient hat, und an das Gewebe der Kartoffel. Letzteres kommt zwar dem Eiweifs an secundärem Widerstande nicht gleich, da die Stärke des Stromes damit nur auf etwa $\frac{1}{3}$ ihres ursprünglichen Werthes sinkt; die Folge wird aber lehren, dafs die Wahl eines Pflanzengewebes als zweiten Vertreters der mit secundärem Widerstande behafteten Körper hier von besonderer Bedeutung ist.

Ich verfuhr nunmehr folgendermafsen. Den Seiten des wie gewöhnlich von Grundfläche zu Grundfläche durchströmten Prisma's legte ich mit gesättigter schwefelsaurer Zinkoxydlösung getränkte und mit doppelten Eiweifshäutchen bekleidete Keilbäusche in solcher Entfernung von den Enden an, dafs der besondere Vorgang, dessen Sitz das Eintrittsende ist (S. unten §. VII.), sich nicht bis zwischen ihre Schneiden erstreckte. Die Keilbäusche safsen den mit der nämlichen Flüssigkeit getränkten Zuleitungsbäuschen eines Paares meiner neuen Zuleitungsgefäfse aus verquicktem Zink [1]) auf, welche mit einer Daniell'schen Kette verbunden waren. Die Grove'sche Säule soll hinfort die Hauptkette, ihr Strom der Hauptstrom, dessen Kreis der Hauptkreis, die Daniell'sche Kette die Hülfskette, ihr Strom der Hülfsstrom, dessen Kreis der Hülfskreis heifsen.

[1]) Vergl. diese Berichte, 1859. S. 484. Dieselben sollen nächstens beschrieben und abgebildet werden.

In dem Kreise der Hauptkette befand sich die eine, in dem der Hülfskette die andere der beiden verschiebbaren Rollen der Wiedemann'schen Bussole, beide in passendem Abstande vom Spiegel, letztere gemeiniglich von 1500, manchmal von 3000 Windungen. Ich beobachtete nun zuerst bei offener Hauptkette die Stärke des Hülfsstromes bei dem ursprünglichen Zustande des Eiweifses oder des Kartoffelgewebes. Dann schlofs ich, bei geöffneter Hülfskette, die Hauptkette, liefs den secundären Widerstand sich entwickeln, und beobachtete abermals, bei geöffneter Hauptkette, die Stärke des Hülfsstromes. Dann legte ich die Wippe des Hauptstromes um, liefs den secundären Widerstand, unter dem Einflufs der neuen Stromrichtung, sich zerstreuen, öffnete die Hauptkette im Augenblick, wo das Sinken sich wieder einstellte, las abermals die Stärke des Hülfsstromes ab, u. s. f. Mit einem Worte, ich prüfte jedesmal mittels des durch das Prisma, mit Ausschlufs des Eintrittsendes, hindurchgesandten Stromes der Hülfskette, die Veränderungen des Widerstandes, welche etwa darin durch den Hauptstrom hervorgerufen waren.

Bei dieser Versuchsweise zeigt sich, dafs der Hülfsstrom, in kleinerem Mafsstabe zwar, jedoch vollkommen regelmäfsig und deutlich, die Schwankungen mitmacht, denen der Hauptstrom unterliegt. Ist der Hauptstrom, in Folge der Entwickelung des secundären Widerstandes, gesunken, so ist auch der Hülfsstrom klein; hat der Hauptstrom, in Folge der Zerstreuung des secundären Widerstandes durch den umgekehrten Strom, seine ursprüngliche Gröfse wieder erreicht, so ist auch der Hülfsstrom grofs. Es hat also den Anschein, als gebe es, aufser dem an dem Eintrittsende sich entwickelnden äufseren secundären Widerstande, wirklich noch einen inneren secundären Widerstand, der seinen Sitz in jedem durchströmten Querschnitt des Prisma's habe. Es fragt sich indefs noch, ob es nicht möglich sei, diesen inneren secundären Widerstand auf bereits bekannte Ursachen zurückzuführen.

Vor Allem sei bemerkt, dafs nicht daran zu denken ist, die Schwankungen des Hülfsstromes abzuleiten vom Hereinbrechen eines Theiles des Hauptstromes in den Hülfskreis, während der Hülfsstrom beobachtet wurde. Ein solches Hereinbrechen wurde unmöglich gemacht durch die Anordnung, die ich in der Ab-

handlung über Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte [1]) beschrieben und schematisch abgebildet habe, indem nämlich eine Wippe den einen Kreis, während sie den anderen schloſs, an zwei passend gelegenen Stellen zugleich unterbrach.

Ebensowenig ist daran zu denken, daſs der Hauptstrom, indem er an den Keilbäuschen der Hülfskette vorüberfloſs und sich vielleicht schleifenförmig in sie hineinbog, an den Berührungsstellen der Keilbäusche mit dem Prisma äuſseren secundären Widerstand entwickelt habe. Diesem Einwand zu begegnen, wurde das Eiweiſs- oder Kartoffelprisma an einem Glasstabe wagerecht schwebend [2]) zwischen zweien Paaren von Keilbäuschen aufgestellt, deren eines dem Haupt-, das andere dem Hülfskreise angehörte. Der Abstand zwischen dem einen und dem anderen Paare von Keilbäuschen war gröſser als der wagerechte Durchmesser des Prisma's. Indem das Prisma in wagerechter Ebene senkrecht auf seine Axe hin- und herbewegt wurde, konnte es abwechselnd dem einen und dem anderen Paare von Keilbäuschen angelegt werden. Auch so zeigten sich die den Schwankungen des Hauptstromes entsprechenden Schwankungen des Hülfsstromes, obschon jetzt der Hauptstrom die Keilbäusche der Hülfskette gar nicht mehr berührte.

Dann könnte man versucht sein, um die Schwankungen des Hülfsstromes zu erklären, an die innere Polarisation zu denken, deren elektromotorische Kraft im Kreise der Hülfskette (eines einzigen Daniell's) nicht mehr als verschwindend anzusehen sei. Diese Deutung setzt voraus, daſs Haupt- und Hülfsstrom einerlei Richtung im Prisma haben, da sonst die durch den Hauptstrom bewirkte innere Polarisation, anstatt den Hülfsstrom zu schwächen, sich vielmehr zu demselben summiren würde. Es zeigt sich aber, daſs die Schwankungen des Hülfsstromes bei jeder Richtung desselben in Bezug auf den Hauptstrom nahe gleich stark ausfallen. Allerdings erhält man in den ersten Augenblicken nach der Öffnung des Haupt- und Schlieſsung des Hülfskreises einige Scalentheile mehr Ablenkung, wenn man

---

[1]) Diese Berichte, 1856. S. 396.

[2]) Im Fall des Eiweiſses war der Glasstab in der Axe des Reagirglases befestigt worden, in welchem das Eiweiſs gerann.

das Prisma so in den Hülfskreis bringt, dafs der Hülfsstrom darin ebenso fliefst, wie vorher der Hauptstrom; im anderen Falle einige Scalentheile weniger. Diese Erscheinung ist unzweifelhaft auf Rechnung der inneren Polarisation zu bringen, allein im Vergleich mit den Schwankungen des Hülfsstromes, von denen hier die Rede ist, kommt dieselbe nicht in Betracht.

Es giebt nun noch eine vierte Ursache, auf die man diese Schwankungen zurückführen kann. Dies ist die Wärmeentwickelung durch den Hauptstrom. Es ist klar, dafs je stärker der Hauptstrom ist, um so wärmer wird das Eiweifs- oder Kartoffelprisma, um so besser mufs es leiten. Umgekehrt, je mehr sich der Hauptstrom durch Entwickelung secundären Widerstandes geschwächt hat, um so kälter wird das Prisma, und um so gröfser folglich dessen Widerstand. Es kann sich nur darum handeln, ob diese Ursache ausreiche, um die beobachteten Schwankungen des Hülfsstromes zu erklären, oder nicht.

Um hierüber Gewifsheit zu erlangen, steckte ich in ein in das Eiweifsprisma senkrecht auf seine Axe gebohrtes Loch den schlanken cylindrischen Behälter eines für Beobachtungen über thierische Wärme bestimmten, in Zehntel Grade C. getheilten Thermometers, und las durch eine Brücke'sche Arbeitslupe die durch den Strom bewirkte Temperaturerhöhung ab. Sie belief sich im Ganzen auf etwa 10°, und die Temperaturschwankungen, welche den Schwankungen des Hauptstromes entsprachen, auf volle 6°.

Sodann erwärmte ich ein Eiweifsprisma von dem gewöhnlichen Querschnitt in einem Reagirglase bis zu einer Temperatur, welche die höchste im vorigen Versuche durch den Strom erreichte um mehrere Grade übertraf, und brachte dann dasselbe in Berührung mit den im gewöhnlichen Abstande von einander befindlichen Keilbäuschen der Hülfskette. Während das in dem Prisma steckende Thermometer abwärts das Temperatur-Intervall durchlief, welches den im vorigen Versuch durch den Strom bewirkten Temperaturschwankungen entsprach, wuchs der Widerstand des Eiweifses, nach der Stärke des Hülfsstromes bemessen, um ebensoviel, als wenn der Hauptstrom das Eiweifsprisma lange genug durchkreist, um sich auf's Äufserste zu schwächen.

Diese Versuche laufen, wie man sieht, darauf hinaus, die Annahme eines besonderen inneren secundären Widerstandes im Eiweifs unnöthig zu machen. Nicht so was das Gewebe der Kartoffel betrifft. Dies leitet nämlich aufserordentlich viel schlechter als das hartgesottene Eiweifs. In Folge davon erreicht der Hauptstrom im Kartoffelprisma eine viel geringere Stärke als im Eiweifsprisma, und die Temperaturerhöhung im ersteren ist so gering, dafs sie oft gar nicht bemerkbar wird, und jedenfalls nicht in Betracht kommt. Gleichwohl fallen die den Schwankungen des Hauptstromes entsprechenden Schwankungen des Hülfsstromes in der Kartoffel nicht kleiner, sondern, im Vergleich zu den ersteren, sogar noch gröfser aus als im Eiweifs. Wir haben also noch immer Grund, im Kartoffelprisma einen inneren secundären Widerstand anzunehmen. Doch scheint es wünschenswerth, das Dasein desselben noch auf anderem Wege gegen den Verdacht zu sichern, als handele es sich dabei um Temperaturschwankungen. Die folgenden Ermittelungen erfüllen diesen Zweck.

Betrachtet man genauer die den Schwankungen des Hauptstromes entsprechenden Schwankungen des Hülfsstromes im Falle des Eiweifses und in dem des Kartoffelgewebes, so zeigt sich bald ein wesentlicher Unterschied. Bei dem Eiweifs nämlich liegen die kleinsten Werthe der Hülfsstromstärke, die man beobachtet, wenn der Hauptstrom im Eiweifs durch Entwickelung des secundären Widerstandes seine unterste Grenze erreicht hat, niemals unter, sondern stets noch über dem ursprünglichen Werthe der Hülfsstromsträrke, den man vor jeder Einwirkung des Hauptstromes erhielt. Der Hauptstrom bringt also im Eiweifs keine absolute Verminderung der Leitungsfähigkeit hervor. Die Verminderung ist vielmehr nur relativ, d. h. sie stellt sich als solche dar im Vergleich zu der Vermehrung der Leitungsfähigkeit, welche der Strom in seiner vollen, durch den secundären Widerstand ungeschwächten Gröfse thermisch erzeugt. Anders bei dem Kartoffelgewebe. Hier liegen jene kleinsten Werthe der Hülfsstromstärke unter dem ursprünglichen, es hat also eine wirkliche Verminderung der Leitungsfähigkeit durch den Hauptstrom stattgefunden, welche nie die Folge der thermischen Wirkung sein kann. Diese absolute

Verminderung der Hülfsstromstärke kann sich bis auf $\frac{1}{5}$ ihres ursprünglichen Werthes belaufen.

Beobachtet man den Gang der Hülfsstromstärke unmittelbar nachdem man den auf's Äufserste geschwächten Hauptstrom geöffnet hat, so giebt sich abermals zwischen den Erscheinungen, die das Eiweifs, und denen, die das Kartoffelgewebe bietet, ein bedeutsamer Unterschied zu erkennen. Beim Eiweifs ist nämlich die Hülfsstromstärke im Sinken begriffen, unstreitig, weil, wie das Thermometer bekundet, das Eiweifs kälter wird. Wie schwach auch der Strom geworden war, immer erhielt er das Eiweifs doch noch auf einer höheren Temperatur, als ihm sonst zukommen würde. Beim Kartoffelgewebe beobachtet man im Gegentheil, dafs die Hülfsstromstärke nach Unterbrechung des Hauptstromes ziemlich rasch wächst. Dies kann von nichts herrühren, als davon, dafs ein durch den Hauptstrom entwickelter innerer secundärer Widerstand anfängt sich zu zerstreuen, sobald der Hauptstrom aufhört. Der Hauptstrom selbst erscheint in beiden Fällen nach dem Offenstehen seines Kreises etwas verstärkt, bei dem Eiweifs darum, weil auch der äufsere secundäre Widerstand sich sofort, obschon viel langsamer, zu zerstreuen beginnt, wenn der Strom aufhört, der ihn hervorrief.

Um nun auch den Einflufs der Stromesumkehr auf den inneren secundären Widerstand zu erforschen, dient folgender Kunstgriff. Man denke sich ein Eiweifs- und ein Kartoffel-Prisma durch zwei möglichst senkrecht auf die Axe geführte Schnitte in drei Stücke getheilt, von denen das mittlere das längste ist, sodann die drei Stücke wieder genau zusammengefügt, und zwischen den Zuleitungsbäuschen des Hauptstromes dergestalt angebracht, dafs man das Mittelstück herausnehmen kann, ohne dafs die Endstücke an den Bäuschen verschoben werden. Der Hauptstrom wird bis zur äufsersten Schwächung durch den äufseren secundären Widerstand hindurchgeschickt. Dann wird so rasch als möglich das Mittelstück herausgenommen, in verkehrter Lage wieder eingesetzt, und der Erfolg am Fernrohr beobachtet. Mit dem Eiweifs ist dieser Erfolg nichtig; der Faden stellt sich, wenn der Versuch gut gelingt, sobald die unvermeidlichen Schwankungen wegen Öffnens und Wiederschliefsens der Kette vorüber sind, fast genau auf den Theilstrich wieder ein, auf dem

er sich vor dem Umkehren des Mittelstückes befand. Mit dem Kartoffelgewebe hingegen zeigt sich die Ablenkung, wenn der Spiegel zur Ruhe gekommen ist, im langsamen Wachsen begriffen, und dies läfst sich sogar in Fällen beobachten, wo ein in dem Mittelstück steckendes Thermometer aus anderen Gründen sinkt, nicht steigt. Das langsame Wachsen hat eine Grenze, bei welcher angelangt die Stromstärke einige Augenblicke beständig bleibt, und dann wieder zu sinken beginnt, ganz, nur in kleinerem Mafsstabe, als ob es sich um den äufseren secundären Widerstand handelte. Wird das Mittelstück nur herausgenommen und wieder eingesetzt ohne umgekehrt zu werden, so ereignet sich nichts der Art.

Nach diesen Versuchen ist es als eine ausgemachte Sache anzusehen, dafs das Kartoffelgewebe wirklich inneren secundären Widerstand besitzt. Vom Eiweifs hätte man bis zum letzten Versuche noch glauben können, dafs die durch thermische Wirkung darin erzeugten Hülfsstromschwankungen vielleicht auch noch solche Schwankungen in sich bärgen, die auf innerem secundären Widerstande beruhten. Nach diesem Versuch aber steht es fest, dafs dem Eiweifs keine nachweisbare Spur inneren secundären Widerstandes zukommt. Zwar läfst sich dagegen noch einwenden, dafs wir, der Natur der Sache nach, das Eiweifs auf den inneren secundären Widerstand nur haben prüfen können mittels eines Stromes, der durch den äufseren secundären Widerstand um den gröfsten Theil seiner Stärke gebracht war. Allein die Folge wird uns Mittel an die Hand geben, diesen Einwand zu beseitigen, wie auch den inneren secundären Widerstand des Kartoffelgewebes noch auf einem vierten Wege darzuthun (s. unten, §. XI).

Wir werden dergestalt auf die Aufgabe geführt, zu ermitteln, welche unter den feuchten porösen Körpern, die wir oben als des secundären Widerstandes überhaupt fähig erkannt haben, neben dem äufseren secundären Widerstande, der ihnen allen in gröfserem oder geringerem Grade zuzukommen scheint, auch noch gleich dem Kartoffelgewebe inneren secundären Widerstand besitzen. Das Ergebnifs dieser Prüfung hat etwas Befremdendes. Ich habe nämlich den inneren secundären Widerstand bisher nur an frischen Pflanzengewebetheilen, an

Stücken Kartoffel, Mohrrübe, Petersilienwurzel, Begoniastiel, Apfel, Birne, nachweisen können. Hält man Kartoffeln oder Begoniastiele zehn Minuten lang in siedendem Wasser, so leiten sie sehr viel besser, haben aber die Fähigkeit, inneren secundären Widerstand anzunehmen, eingebüfst. Was die anderen feuchten porösen Körper betrifft, so habe ich aufser dem Eiweifs auf diese Fähigkeit vergeblich untersucht folgende Vertreter der vier Klassen: Kreide und Bimsstein; Seife; Stäbe aus Eichen- und Weifsbüchenholz, Bäusche aus Fliefspapier und Streifen Pappe, sämmtlich mit Wasser getränkt; endlich Muskelfleisch, in der Faserrichtung und senkrecht darauf durchströmt, Rückenmark, Sehnen- und elastisches Gewebe, Haut und Knorpel vom Rinde. Sieht man von der Seife ab, an der sich aus gewissen Gründen nicht mit der Hülfskette experimentiren läfst, so findet bei keinem dieser Körper eine absolute Verminderung der Hülfsstromstärke in Folge des Durchganges des Hauptstromes, oder ein Ansteigen derselben in Folge des Öffnens der Säule statt. Die Hölzer nehmen eine so starke Polarisation an, dafs der Hülfsstrom dadurch, je nach der Richtung des Hauptstromes, ansehnlich verstärkt oder geschwächt wurde. (Vergl. oben S. 860). Diese in raschem Sinken begriffene Polarisation setzt der Bestimmung des Widerstandes der Hölzer nach dem Durchgang des Hauptstromes grofse Schwierigkeiten entgegen. Es gelingt jedoch auszumachen, dafs der Widerstand nicht vermehrt, sondern, unstreitig durch thermische Wirkung des Hauptstromes, vermindert ist. Bei den porösen Körpern unorganischen Ursprungs, Kreide und Bimstein, habe ich mich auf die Beobachtung jener beiden Merkmale der Abwesenheit des inneren secundären Widerstandes beschränken müssen. Hier ist somit noch die Möglichkeit da, dafs eine Spur inneren secundären Widerstandes durch die thermische Wirkung des Hauptstromes verdeckt wurde. Was aber die übrigen so eben genannten feuchten porösen Körper, die Hölzer, die Pappe, insbesondere die thierischen Gewebe betrifft, so habe ich damit noch den zuletzt angegebenen Umkehrversuch angestellt, und dabei nie langsames Wachsen gesehen. Ebensowenig war dies der Fall bei der Seife, wo nur dieser Versuch angestellt werden konnte. Von diesen Körpern können wir also mit derselben Gewifsheit wie vom Eiweifs sa-

gen, dafs sie keine Erscheinung zeigen, welche zur Annahme eines inneren secundären Widerstandes zwänge.

§. V. Nähere Untersuchung des inneren secundären Widerstandes.

Abgesehen davon, dafs wir noch nicht wissen, ob nicht die noch im Besitze ihrer Lebenseigenschaften verharrenden thierischen Gewebe des inneren secundären Widerstandes fähig sind, erscheint derselbe an sich als ein Phänomen von hinlänglicher Bedeutung, um ein etwas näheres Eingehen darauf an dieser Stelle zu rechtfertigen.

Zunächst versuchte ich zu erfahren, ob sich dieser Widerstand auch kundgeben würde, wenn man den Hülfsstrom, statt dem Hauptstrom parallel, senkrecht darauf durch das Pflanzengewebe leitete. Zu diesem Zwecke stanzte ich mittels eines Blechdeckels kreisrunde Scheiben aus einer durch zwei parallele Ebenen begrenzten Kartoffelschnitte, und zeichnete darauf mit Tinte vier einander unter 45° schneidende Durchmesser. Dem Endpunkte eines dieser Durchmesser legte ich die Keilbäusche der Hauptkette an, die der Hülfsbäusche folgweise den Endpunkten der drei anderen Durchmesser. Kleiner als 45° oder gröfser als 135° liefs sich der Winkel zwischen beiden Strömen nicht machen, weil über diese Grenzen hinaus kein Platz für die Zuleitungsgefäfse, welche die Keilbäusche trugen, übrig blieb. Innerhalb dieser Grenzen aber erwies sich die absolute Verminderung des Hülfsstromes in Folge der Einwirkung des Hauptstromes als gleich grofs, es mochte nun der Hülfsstrom den Hauptstrom senkrecht, oder unter einem Winkel von 45° oder von 135° schneiden. Demnach scheint es als sei der innere secundäre Widerstand unabhängig von der Richtung des Stromes, der ihn hervorrief.

Dann wollte ich wissen, wie dieser Widerstand im Inneren des Kartoffelprisma's vertheilt sei; ob er in allen Querschnitten des Prisma's gleich grofs gefunden werde, oder ob er vielleicht vom Eintrittsende nach dem Austrittsende zu abnehme, was so zu deuten gewesen wäre, dafs der innere secundäre Widerstand eine in der Richtung des Stromes in den feuchten porösen Körper hineinragende Fortsetzung des äufseren secundären

Widerstandes bilde. Vergeblich suchte ich zuerst diese Frage dadurch zu entscheiden, dafs ich die Keilbäusche der Hülfskette in beständigem Abstande von einander verschiedenen Strecken des Prisma's anlegte und die Veränderungen verglich, welche der Hauptstrom in dem Widerstande dieser Strecken hervorbrachte. Es zeigten sich keine deutlichen Unterschiede, allein das Verfahren erwies sich als zu unsicher, als dafs ich mich bei diesem Ergebnifs hätte beruhigen dürfen. Zur schärferen Prüfung beschlofs ich, zwei gleich lange Strecken des Kartoffelprisma's zu Schenkeln eines Wheatstone'schen Stromnetzes [1]) zu machen, in dessen ungespaltener Strecke eine Hülfskette von hinlänglicher Kraft befindlich, und dessen beiden anderen Schenkeln ein solcher Widerstand ertheilt wäre, dafs bei dem ursprünglichen Leitungsvermögen des Kartoffelgewebes der Strom in der Brücke verschwände. Wenn dann durch die Einwirkung des Hauptstromes die beiden Strecken des Prisma's verschiedenen Widerstand annähmen, müfste sich dies dadurch kundgeben, dafs beim Schliefsen der Hülfskette nach dem Öffnen der Hauptkette ein Strom in der Brücke entstände.

Dieser Versuchsplan wurde in's Werk gesetzt, indem ich dem Kartoffelprisma in gleichen Abständen drei mit Zinklösung getränkte Keilbäusche anlegte, welche auf verquickte Zinkplatten gebunden und passend aufgestellt waren. Das mittlere Zinkblech führte zum einen Ende der Hülfskette, die beiden anderen waren durch die Brücke verbunden, und hingen aufserdem mit dem anderen Ende der Hülfskette zusammen durch metallische Leitungen von angemessenem Widerstande, welche die beiden anderen Schenkel des Stromnetzes ausmachten. Der Widerstand der einen dieser Leitungen konnte hinreichend fein abgestuft werden, und mit Hülfe davon wurde der Stromzweig in der Brücke, worin die eine Rolle der Bussole eingeschaltet war, leicht zum Verschwinden gebracht. Die Empfindlichkeit der Anordnung war so grofs, dafs einer Veränderung des Widerstandes eines der Schenkel um $\frac{1}{200}$ etwa ein Scalentheil Ausschlag entsprach.

---

[1]) *Philosophical Transactions etc. For the Year 1843. T. II. p. 323;* — Poggendorff's Annalen u.s.w. 1844. Bd LXII. S. 535. — Kirchhoff, ebendas. 1845. Bd. LXIV. S. 512.

Nun liefs ich, bei geöffneter Hülfskette[1]), den Hauptstrom sich durch Entwickelung des secundären Widerstandes auf's Äufserste schwächen, prüfte den Brückenstrom, legte die Wippe im Hauptkreise um, liefs den umgekehrten Hauptstrom den secundären Widerstand zerstreuen, prüfte abermals den Brückenstrom, liefs von Neuem durch den Hauptstrom den secundären Widerstand in entgegengesetzter Richtung von vorhin hervorrufen, prüfte zum drittenmal den Brückenstrom, u. s. f. Der Erfolg war in mehreren wohlgelungenen Versuchen, dafs zwar der Strom in der Brücke nicht gerade Null blieb, was bei der Dauer der Beobachtungen nicht zu verlangen war, dafs sich aber, in Sinn und Gröfse der auftretenden Ablenkungen, keine Spur eines Gesetzes blicken liefs. Und doch bringt, wie man leicht bemerkt, das angewendete Verfahren es mit sich, dafs bei einem beständigen Unterschiede zwischen dem Widerstande der Ein- und dem der Austrittshälfte, die Ausschläge in der Brücke bald die eine, bald die andere Richtung gehabt, mit anderen Worten, dafs ihre Gröfsen sich summirt haben würden. Gleichgültig war dabei, ob der mittlere Bausch mit dem positiven oder mit dem negativen Ende der Hülfskette verbunden war, d. h. ob der Hülfsstrom in der Eintrittshälfte dieselbe Richtung wie der Hauptstrom hatte oder nicht. Dadurch ist dem Verdacht vorgebeugt, als habe vielleicht der in der Eintrittshälfte zufällig stets dem Hauptstrom entgegengesetzte, in der Austrittshälfte aber gleichgerichtete Hülfsstrom in der ersteren Hälfte den inneren secundären Widerstand zerstreut, in der letzteren bestehen lassen, und als sei so durch die Prüfung selber die durch den Hauptstrom bewirkte Ungleichheit der Widerstände wieder verwischt worden.

Aus diesen Versuchen ist somit zu schliefsen, dafs der Widerstand des Kartoffelprisma's in allen seinen mittels der Keilbäusche zugänglichen Querschnitten unter dem Einflufs des Hauptstromes gleichmäfsig steigt und fällt, und dafs keine nachweisbare Abstufung des inneren secundären Widerstandes vom

---

[1]) Es versteht sich, dafs die Öffnung an zwei Stellen, nämlich in den beiden Drähten stattfand, die von den beiden äufsersten Zinkblechen ausgingen, und zwar bevor dieselben sich in die Brücke und in die beiden metallischen Schenkel des Stromnetzes spalteten. Widrigenfalls ein Theil des Hauptstromes seinen Weg durch die Brücke genommen hätte.

Eintritts- nach dem Austrittsende zu stattfindet, welche auf eine Beziehung zwischen dem inneren und dem äufseren secundären Widerstande hinwiese. Wenn folglich die Maxima und Minima des Haupt- und Hülfsstromes in den obigen Versuchen einander zu entsprechen schienen, so ist darauf nichts zu geben. War dies wirklich der Fall, so war es nur ein zufälliges Zusammentreffen. Allein jenes Entsprechen kann ebensogut nur ein Anschein gewesen sein, erzeugt durch eine Reihe von Möglichkeiten, deren ausführliche Zergliederung sich hier nicht der Mühe lohnen würde.

Wie mit der Dauer der Durchströmung, so nimmt der innere secundäre Widerstand in einem gegebenen Kartoffelprisma natürlich auch mit der Stärke des Hauptstromes zu. Schon bei fünf Grove'schen Gliedern und den gewöhnlichen Mafsen des Prisma's trat die Erscheinung in sehr grofser Stärke hervor. Wurden noch fünf Glieder in die Hauptkette genommen, so wuchs auch der innere secundäre Widerstand, und so fort bis zu zwanzig Gliedern. Doch geschah das Wachsthum immer langsamer, so dafs durch die Vermehrung der Gliederanzahl von fünfzehn auf zwanzig nur noch eine ganz unbedeutende Verstärkung des inneren secundären Widerstandes herbeigeführt wurde.

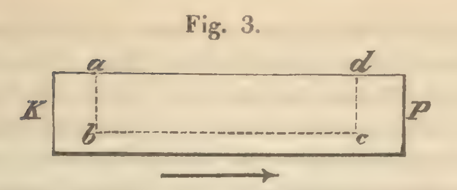
Es versteht sich von selbst, dafs es sich hierbei nicht um die absolute Stromstärke, sondern, wie bei ähnlichen Wirkungen des Stromes im Inneren von Leitern, um die Stromdichte handelt. Es würde indefs wünschenswerth sein, dies so zu zeigen, dafs bei beständig bleibender Stromstärke der Querschnitt des Kartoffelprisma's verändert würde. Da, wie wir sehen werden, der äufsere secundäre Widerstand mit der Verkleinerung der Berührungsfläche zwischen Bausch und feuchtem porösen Körper rasch zunimmt, so kann dies nicht ohne Weiteres in der Art geschehen, dafs man, im Hauptkreise beobachtend, Prismen von verschiedenem Querschnitt einem Strome von stets gleicher Stärke aussetzt und die durch den secundären Widerstand in den verschiedenen Fällen herbeigeführten Schwächungen des Stromes miteinander vergleicht. Es würde vor der Hand an jedem Mittel fehlen, um den Antheil an der Schwächung des Stromes, der dem inneren, von dem zu sondern, der dem äufseren secundären Widerstande zukommt. Es ist vielmehr klar, dafs zu einer tadel-

freien Versuchsweise hier gehört, dafs sowohl die ursprüngliche Stärke des Stromes, als der äufsere secundäre Widerstand beständig gehalten werden, welches letztere nur so möglich ist, dafs die Enden des Prisma's unverrückt an den Bäuschen liegen bleiben. Daraus ergiebt sich folgendes Verfahren.

Man bezeichnet sich an dem Prisma durch Tintenpunkte zwei gleich lange Strecken, *A* und *B*, welche einen möglichst grofsen Theil seiner Länge einnehmen, an jedem Ende des Prisma's jedoch, und zwischen sich, noch ein etwa 1^{cm} langes Stück übrig lassen. Der einen dieser Strecken, *A*, legt man die Keilbäusche der Hülfskette zuerst so an, dafs sie dessen ganze Länge umfassen, und bestimmt die absolute Verminderung des Hülfsstromes, welche der Hauptstrom hervorbringt. Dann verjüngt man in der Strecke *A* das Prisma um die Hälfte, rückt die Keilbäusche der Hülfskette einander um die Hälfte näher, und schneidet die Strecke *B* aus dem Prisma aus. Sieht man davon ab, dafs die Leitung des Hülfsstromes zwischen den Keilbäuschen, und des Hauptstromes da wo der Querschnitt des Prisma's sich plötzlich um die Hälfte ändert, keine lineare sein kann, so läfst diese Reihe von Operationen den Widerstand sowohl im Haupt- als im Hülfskreise, und folglich beide ursprüngliche Stromstärken, unverändert, verdoppelt hingegen die Stromdichte in der verjüngten Strecke. Wächst folglich der innere secundäre Widerstand mit der Stromdichte, so mufs sich eine Vergröfserung der durch die beiden secundären Widerstände im Hauptkreise bewirkten Schwächung der Hauptstromstärke, noch leichter aber eine solche der durch den inneren secundären Widerstand allein bewirkten Schwächung der Hülfsstromstärke nachweisen lassen.

Ich habe diesen Versuchsplan mehrmals in's Werk gesetzt, jedoch ohne klaren Erfolg. Es ist in Wirklichkeit, aus Gründen, deren Ausführung zu weitläufig werden würde, unmöglich, die Bedingungen zu erfüllen, auf denen er beruht. Ebensowenig ist mir dies mit einem einfacheren Versuchsplan gelungen, den ich dann zu demselben Zweck erdachte. Er besteht darin, ein Kartoffelprisma *KP* (s. Fig. 3 flgd. Seite) zwischen die Zuleitungsbäusche zu bringen, an welchem ein Stück *a b c d* ausgeschnitten, und wieder eingesetzt ist. Ich liefs den secundären Widerstand sich so weit entwickeln, dafs der Strom beständig erschien,

Fig. 3.



und entfernte dann plötzlich das Stück *a b c d*. Natürlich geschah, unter heftigen Schwankungen des Scalenbildes, eine plötzliche Verminderung der Stromstärke. Ich hoffte aber nach Beruhigung des Spiegels die Stromstärke noch langsam abnehmen zu sehen, zum Zeichen, daſs der erhöhten Stromdichte in der verjüngten Strecke ein höherer Grad inneren secundären Widerstandes entspreche. Allein auch diese Versuchsweise schlug fehl, weil entweder, bei kleinem Widerstande im Kreise auſserhalb des Prisma's, die Stromdichte in der verjüngten Strecke nicht hinlänglich wuchs, oder, bei groſsem Widerstande, in Folge der Schwäche des Stromes sogar bei dreiſsig Grove'schen Gliedern der Säule die Erscheinungen undeutlich wurden.

Unsere Bemühungen, das Wachsen des inneren secundären Widerstandes mit abnehmendem Querschnitt bei beständiger Stromstärke nachzuweisen, bleiben somit für jetzt vergeblich. Die Folge wird uns indeſs in den Stand setzen, diese Frage mit besserem Erfolg wieder aufzunehmen (s. unten §. XI).

Wollte man den inneren secundären Widerstand in den Ausdruck für den Widerstand des Kartoffelprisma's einführen, so würde derselbe, nach den Untersuchungen dieses Paragraphen, durch einen von der Stromdichte und der Dauer der Durchströmung abhängigen Summanden zu dem Coëfficienten darzustellen sein, der den Widerstand des Gewebes für die Einheit der Länge und des Querschnittes bedeutet.

§. VI. Abhängigkeit des äuſseren secundären Widerstandes von Stromstärke und Querschnitt.

Wir kehren nun zurück zu dem äuſseren secundären Widerstande, der aus mehreren Gründen bei weitem die wichtigere Erscheinung für uns ist. Gleich dem inneren secundären Widerstande wächst derselbe in einem gegebenen feuchten porösen Körper rasch mit der Stromstärke. Bei nur einer Grove'schen

Kette im Kreise zeigt sich an einem Eiweifsprisma von den gewöhnlichen Mafsen keine sichere Spur davon. Bei fünf Grove'schen Gliedern dagegen sind schon alle oben beschriebenen Erscheinungen am Eiweifs, dem Muskelfleisch, dem Knorpel, dem elastischen und dem Sehnen-Gewebe, dem der Kartoffel, deutlich wahrzunehmen, nur dafs das Sinken sowohl als das Wiederanwachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe viel langsamer vor sich gehen als bei den hohen Stromstärken, und dafs sich leicht Unregelmäfsigkeiten einstellen, z. B. der secundäre Widerstand nur oder vorzugsweise bei der einen Stromrichtung auftritt.

Die Ursache, weshalb wir uns bisher stets einer Säule von so grofser Gliederanzahl bedient haben, und dies für gewöhnlich auch fernerhin thun werden, ist also nicht etwa, dafs es solcher Mittel bedarf, um den inneren oder äufseren Widerstand sichtbar zu machen. Sondern aus demselben Grunde, aus dem diese Anordnung vielleicht für den einen unserer Zwecke nicht die günstigste war, nämlich um die innere Polarisation im ursprünglichen Kreise zu beobachten, eignet sie sich zur Untersuchung des secundären Widerstandes. Sie hat gerade den Vortheil, dafs wir uns dabei um die verschiedenen secundär-elektromotorischen Kräfte, welche im Kreise rege werden mögen, nicht zu kümmern brauchen: so wenig wie um die innere Polarisation, um die der Kupferelektroden, um die Polarisation an der Grenze der Elektrolyte, und um die Hydrothermoströme, zu denen die thermische Wirkung des Säulenstromes vielleicht Anlafs giebt [1]). Alle diese Störungen verschwinden unstreitig gegen die elektromotorische Kraft von zwanzig Grove'schen Gliedern, und jede merkliche Stromschwankung darf ohne Weiteres auf eine Veränderung des Widerstandes bezogen werden.

Läfst man den secundären Widerstand durch den Strom von fünf Grove'schen Gliedern sich vollständig entwickeln, so dafs bei einer ursprünglichen Ablenkung von etwa 200 Scalentheilen mehrere Minuten vergehen, bis ein Sinken um einen Scalentheil erfolgt ist, und geht man dann plötzlich zu einer gröfseren Stromstärke, z. B. zu der von zehn Gliedern über, so beobachtet man in den ersten Augenblicken wieder rasches Sinken, welches auf eine er-

[1]) Vergl. Wild in Poggendorff's Annalen u. s. w. Bd. CIII. S. 353.

neute Entwickelung secundären Widerstandes hinweist. In der That kann man sich, mit Hülfe leicht zu ersinnender Gegenversuche, überzeugen, dafs das erneute Sinken nicht etwa darauf beruht, dafs der secundäre Widerstand sich zum Theil zerstreut hat, während man, um die neuen Glieder aufzunehmen, die Kette einen Augenblick öffnete. Wartet man abermals einen nahezu beständigen Zustand ab, und steigert man wieder die Gliederanzahl der Säule um fünf, so beobachtet man den nämlichen Erfolg, und so habe ich denselben, wenn auch in immer kleinerem Mafsstabe, bis zu dreifsig Gliedern eintreten sehen.

Für den äufseren secundären Widerstand hat es keine Schwierigkeit, die Abhängigkeit desselben vom Querschnitt, oder vielmehr von der Berührungsfläche zwischen feuchtem porösen Körper und Bausch, nachzuweisen. Sie ist erwähntermafsen (s. oben S.869) der Art, dafs dieser Widerstand um so beträchtlicher erscheint, je kleiner die Berührungsfläche, oder je gröfser die Stromdichte darin. Dies spricht sich besonders darin aus, dafs wenn man dem Eiweifsprisma statt der auf die Axe senkrechten Grundflächen jederseits eine keilförmige Schneide oder eine Spitze ertheilt und es damit die Bäusche berühren läfst, man statt fünf Grove'scher Glieder nur noch einer einzigen Daniell'schen Kette bedarf, um alle Erscheinungen des äufseren secundären Widerstandes vollkommen deutlich wahrzunehmen. Dasselbe ist natürlich der Fall, wenn man umgekehrt die Berührungsfläche dadurch verkleinert, dafs man das Prisma mit Keilbäuschen berührt. Da die schwefelsaure Zinkoxydlösung sich der Kupferoxydlösung in diesen Versuchen ganz gleich verhält, so wurde deshalb bei der obigen Anwendung der Hülfskette mit ihren Keilbäuschen die Vorsicht gebraucht, die Kette nie länger als nöthig geschlossen zu halten und den Strom oft umzukehren.

Bemerkenswerth ist der Erfolg, wenn man, bei nur einem Daniell im Kreise, ein Eiweifsprisma zwischen die Bäusche bringt, das nur an einem Ende keilförmig zugeschärft ist. Alsdann nämlich beobachtet man den secundären Widerstand nur, wenn die Schneide dem Strome zum Eintritt dient. Hat der Strom die andere Richtung, so erscheint er ganz beständig.

Öffnet man den Kreis, in welchem ein Eiweifsprisma das Maximum des äufseren secundären Widerstandes angenommen

hat, ein paar Minuten lang, so findet man, wie schon bemerkt, die Stromstärke etwas gewachsen, obgleich während des Offenstehens die Temperatur des Eiweifsprisma's nothwendig gesunken ist. Doch läfst diese von selbst eintretende Zerstreuung des äufseren secundären Widerstandes auch nach sehr langer Zeit noch immer den gröfsten Theil davon bestehen.

Selbst der umgekehrte Strom hebt übrigens den einmal vollständig entwickelten äufseren secundären Widerstand nicht ganz auf, wie schon oben S. 856 gezeigt wurde und wie abermals aus folgendem Versuch erhellt. Man richte sich so ein, dafs man mit Leichtigkeit abwechselnd mit dem Strom der vielgliederigen Grove'schen Säule, dem Hauptstrom, den einer Daniell'schen Kette als Hülfsstrom durch die Zuleitungsgefäfse und das Eiweifsprisma schicken könne. Das Prisma mufs die Bäusche mit hinreichend grofsen Flächen berühren, damit der Hülfsstrom für sich keinen secundären Widerstand hervorrufe. Man bestimmt nun zuerst die Stärke des Hülfsstromes ehe der Hauptstrom durchgegangen ist. Dann läfst man diesen durch Entwickelung secundären Widerstandes sich auf's Äufserste schwächen, kehrt ihn um, und ersetzt ihn wieder durch den Hülfsstrom in dem Augenblick, wo das langsame Wachsen sein Ende erreicht hat und der Hauptstrom wieder zu sinken beginnt. Man findet zwar den Hülfsstrom jetzt ansehnlich stärker als zu Anfang, allein dies rührt nur her von der durch den Hauptstrom entwickelten Wärme. Hat man ein Thermometer im Eiweifs stecken, und wartet man bis die Temperatur wieder auf den Punkt gesunken ist, wobei die erste Beobachtung geschah, so zeigt sich eine geringere Stärke des Hülfsstromes, so dafs es klar ist, dafs auch unter dem Einflufs des umgekehrten Stromes das Eiweifsprisma seine ursprüngliche Leitungsgüte nie ganz wiedererlangt. Nur durch das Abschneiden des Eintrittsendes kann dies erreicht werden.

§. VII. Nähere Untersuchung des Eintrittsendes des feuchten porösen Körpers, welches der Sitz des äufseren secundären Widerstandes ist.

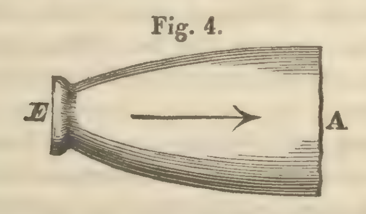
Es ist nun an der Zeit dieses Eintrittsende etwas genauer zu betrachten, um dadurch womöglich zu einer Vorstellung

von der Natur des äufseren secundären Widerstandes zu gelangen.

Bei fast allen feuchten porösen Körpern, welche man zwischen die Zuleitungsbäusche bringt, beobachtet man, dafs das Eintrittsende sich nach kürzerer oder längerer Zeit, bis zu gröfserer oder geringerer Tiefe, blau färbt in der Farbe des Kupfersalzes der Bäusche, während das Austrittsende diese Farbe nur oberflächlich annimmt, so dafs man mittels dieses Kennzeichens die Stromrichtung bestimmen kann.

Das Eintrittsende eines Eiweifsprisma's oder -Cylinders zeigt jedoch noch eine andere bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit. Man findet dasselbe nämlich nahe der Grundfläche, nach Art einer Rakete eingeschnürt, oder, wie es in der Feuerwerkerei heifst, gewürgt (s. Fig. 4). Von der Grundfläche *E*, die dem Brandloch entspricht,

Fig. 4.



bis zur Würgung ist das Eiweifs hellblau, die Kehle der Würgung dagegen sieht dunkelblaugrün aus, als ob ein abfärbender Faden zum Würgen gedient hätte. Diese Färbungen erstrecken sich, wie man auf Längsschnitten sieht, mehr oder minder ausgesprochen durch die ganze Masse des Eiweifses. Die Strecke von der Grundfläche bis zur Würgung fühlt sich sehr fest und derb, die Würgung selber hart wie Horn an. Die Würgung erscheint zuerst ganz nahe der Grundfläche als eine seichte dunkle Furche. In dem Mafse wie der Strom länger einwirkt, wird sie tiefer und breiter, und rückt weiter in der Richtung des Stromes fort. Hat der Strom seine unterste Grenze erreicht, so bleibt sie in einer Entfernung von 2—4^{mm} von der Grundfläche stehen.

Am Austrittsende zeigt sich nichts der Art. Die daselbst durch Diffusion entstandenen blauen Stellen bleiben weich, wie dies auch der Fall ist, wenn man Eiweifs noch so lange in Kupferlösung tauchen oder auf einem damit getränkten Bausche

stehen läfst. Hat aber der Strom lange in derselben Richtung angehalten, so macht sich am Austrittsende eine leichte Anschwellung in Gestalt eines abgestumpften Kegels bemerkbar, dessen Grundfläche die vergröfserte blaugefärbte Grundfläche *A* des Eiweifscylinders ist, während seine abgestumpfte Spitze mit dem unveränderten mittleren Theile des Cylinders verschmilzt. In Fig. 4 ist diese Anschwellung, mit Rücksicht auf sogleich zu Erwähnendes, zu stark ausgeprägt.

Trägt man mit einem scharfen Messer die zwischen Grundfläche und Würgung gelegene Strecke des Eintrittsendes in dünnen Scheiben ab, so bleibt dies ohne Wirkung auf den äufseren secundären Widerstand. Dieser verschwindet erst, und der Strom erreicht erst wieder seine ursprüngliche Stärke (s. oben S. 856. 874), nachdem man mit dem schichtweisen Abtragen des Eintrittsendes an die Würgung gelangt ist. Nicht das ganze Eintrittsende also, sondern die der Würgung entsprechende Scheibe desselben ist der eigentliche Sitz des äufseren secundären Widerstandes.

Die Würgung läfst sich ganz wie beim Eiweifs auch beim Leim, dem Knorpel, dem elastischen Gewebe, dem Rückenmark, dem Muskelfleisch und anderen feuchten porösen Körpern der Art wahrnehmen, wenn sie dem Strom hinreichend lange zwischen den Kupfersalz-Bäuschen ausgesetzt blieben.

Im Widerspruch mit früher von mir mitgetheilten Versuchen [1]) mufs ich endlich bemerken, dafs sich mir neuerdings öfter ein Temperatur-Unterschied des Ein- und Austrittsendes, und zwar stets zu Gunsten des ersteren, dargeboten hat, jedoch ohne dafs ich bis jetzt Gelegenheit genommen hätte, mich ausdrücklich und in Strenge davon zu überzeugen. Z. B. eine Dampfsäule stieg nur von dem Eintrittsende des feuchten porösen Körpers auf, von einem Leimprisma schmolz nur dies Ende u. d. m.

§. VIII. Vom äufseren secundären Widerstande bei Tränkung der Zuleitungsbäusche mit verschiedenen Flüssigkeiten.

Demnächst obliegt uns, um unsere Kenntnifs des äufseren secundären Widerstandes zu erweitern, der Versuch, wie sich

[1]) Diese Berichte, 1856, S. 406. 459.

derselbe gestalten werde, wenn wir den Strom dem Eiweifs durch Bäusche zuführen, die, statt wie bisher mit Kupferlösung, mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkt sind.

Dafs schwefelsaure Zinkoxydlösung sich dabei im Wesentlichen gleich der Kupferlösung verhalte, ist schon bei Gelegenheit der Anwendung der Hülfskette erwähnt worden, deren Zuleitungsgefäfse und -Bäusche jene Lösung enthielten (s. oben S. 873). Um aber unsere Erfahrungen in dieser Richtung zu vervielfältigen, überziehen wir jetzt die Zuleitungsbäusche mit Sicherheitsbäuschen, die gleichfalls mit Kupferlösung getränkt sind, und diese wiederum mit Hülfsbäuschen, welche die zu versuchenden Elektrolyten enthalten sollen; zwischen die Hülfsbäusche wird das Eiweifs gebracht.

Wählen wir zuerst Kochsalzlösung, wegen der bedeutenden Rolle, die sie in der Elektrophysiologie spielt. Man ist nicht wenig überrascht zu finden, dafs Eiweifs zwischen zwei Kochsalz-Hülfsbäuschen noch so lange Zeit dem Strom ausgesetzt, keine Spur äufseren Widerstandes wahrnehmen läfst. Die Ablenkung wächst bei dieser Anordnung stetig, in Folge der Erhitzung des Eiweifses, bis das dynamische Gleichgewicht zwischen Wärmeerzeugung und -Abgabe erreicht ist. Umlegen der Wippe hat keine bemerkenswerthe Folge. Das Abschneiden des Eintrittsendes verstärkt den Strom nicht mehr als das des Austrittsendes. Das Eintrittsende zeigt übrigens ganz wie mit der Kupferlösung die Würgung, nur natürlich nicht blau, sondern gelbgrau. Indem dasselbe fast bis auf die Hälfte seines Durchmessers einschrumpft, während das Austrittsende mehr und mehr anschwillt, nimmt ein Eiweifscylinder hier zuletzt die abenteuerliche Gestalt an, die Fig. 4 S. 874 zeigt. In Folge des Umkehrens des Stromes geht diese Gestalt wieder in die cylindrische über; die nicht ganz verschwindende Würgung am alten Eintrittsende verhindert aber, dafs sich die Kegelgestalt in der anderen Richtung rein auspräge, und der Cylinder erhält mehr die Form einer Birne, deren Stiel am neuen Eintritts- und deren sogenannte Knospe am neuen Austrittsende läge. Als ich am Eintrittsende keilförmig zugeschärfte Eiweifsprismen zwischen die Kochsalz-Hülfsbäusche brachte, erhitzte sich die Schneide dermafsen, dafs die Leitung unter Knistern plötzlich ganz unterbrochen wurde. Nur indem

ich den Strom der zwanziggliederigen Grove'schen Säule dem Eiweiſs durch Kochsalz-Keilbäusche zuführte, gelang es mir zuletzt mit dieser Flüssigkeit äuſseren secundären Widerstand in geringem Maſse, theils durch langsames Wachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe, theils durch den verschiedenen Erfolg beim Verrücken des Ein- und des Austrittsbausches nachzuweisen.

Da für gewöhnlich mit der Kochsalzlösung durchaus kein secundärer Widerstand auftritt, so lange nicht die Kupferlösung durch die Kochsalzbäusche hindurch zum Eiweiſs dringt, so bietet sich jetzt eine bequeme Art dar, verschiedene Flüssigkeiten auf die Fähigkeit zu prüfen, mit Eiweiſs secundären Widerstand zu geben, ohne für jede Flüssigkeit die Zuleitungsbäusche mit neuen Sicherheits- und Hülfsbäuschen überziehen, und ohne darauf Rücksicht nehmen zu müssen, ob die Grenze des mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkten Hülfsbausches und des Sicherheitsbausches ein Sitz secundären Widerstandes werde. Man bekleidet nämlich die Sicherheitsbäusche zuerst mit einem mehrere Millimeter dicken Blatt Modellirthon, dann mit einem Hülfsbausch, der mit Kochsalzlösung getränkt ist. Der Thon setzt keinen secundären Widerstand (s. oben S. 852) und verzögert die Diffusion der Lösungen, so daſs man nicht so bald einer Erneuerung der Anordnung bedarf. Zwischen die Hülfsbäusche bringt man das Eiweiſsprisma, das man mittendurchschneidet, und seine beiden Hälften durch den mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkten Bausch von einander trennt. Ich habe dergestalt eine ziemliche Anzahl von Versuchen angestellt, zu dem Zweck, die Eigenschaft zu entdecken, wodurch eine Flüssigkeit befähigt wird, mit Eiweiſs secundären Widerstand zu geben. Das Ergebniſs derselben, verbunden mit dem der früheren Versuche, ist in folgender Übersicht enthalten. Die Lösungen waren, wo nicht das Gegentheil gesagt ist, gesättigt.

Secundären Widerstand gaben:

*Schwefelsaure Kupferoxydlösung.

*Schwefelsaure Zinkoxydlösung.

*Salpetersaure Silberoxydlösung.

*Neutrale essigsaure Bleioxydlösung.

*Chlorzinklösung.

*Alaunlösung.

*Verdünnte Schwefelsäure ($SO_4H : HO :: 1 : 19$).
*Verdünnte Salpetersäure (Käufliche $NO_5 : HO :: 1 : 9$).

Dagegen versagten secundären Widerstand:
Chlornatriumlösung.
Dieselbe verdünnt mit dem dreifachen Volum Wassers.
Dieselbe verdünnt mit dem neunfachen Volum Wassers.
Chlorammoniumlösung.
Chlorcalciumlösung.
*Quecksilberchloridlösung.
Schwefelsaure Natronlösung.
Neutrale chromsaure Kalilösung.
Doppelt chromsaure Kalilösung.
Kohlensaure Kalilösung.
Kalihydratlösung.
Brunnenwasser.
*Absoluter Alkohol.
*Derselbe verdünnt mit dem halben Volum Wassers.
Essigsäure.

Bei vielen der letzteren Flüssigkeiten, welche gleich der Kochsalzlösung keinen secundären Widerstand geben, wurde wie dort gleichwohl die Würgung am Eintrittsende des Eiweifscylinders beobachtet. Umgekehrt bot die Höllensteinlösung das Beispiel einer Flüssigkeit dar, mit welcher der stärkste secundäre Widerstand auftrat, ohne dafs eine deutliche Spur von Würgung bemerkbar wurde. Der Strom sank nämlich damit viel zu schnell auf eine sehr niedere Stufe, als dafs die Erscheinung Zeit gehabt hätte sich auszubilden.

Vielleicht ist nicht unnütz zu bemerken, dafs es im Wesentlichen gleichgültig ist, ob man das Eiweifsprisma zwischen Bäusche bringt, welche mit einer bestimmten Flüssigkeit getränkt sind, oder ob man es bogenförmig mit seinen beiden Enden in dieselbe Flüssigkeit taucht. Die von uns bis jetzt stets angewendete Versuchsweise hat keine andere Bedeutung, als dafs sie eine gröfsere Bequemlichkeit gewährt und die Berührungsfläche des Eiweifses mit dem zuführenden Elektrolyten sicherer abzugrenzen erlaubt.

Sehr sonderbar ist aber, dafs auch an einem flüssiges Eiweifs enthaltenden heberförmigen Rohr, welches in die mit Kupfer-

oder Zinklösung gefüllten Zuleitungsgefäfse umgestürzt ist, alle Erscheinungen des äufseren secundären Widerstandes, zwar langsam, aber in vollkommener Ausprägung und in gröfstem Mafsstabe, auftreten. Dabei bildet sich in dem Rohr, vom Eintrittsende her, ein mit der Dauer der Schliefsung bis zu einer gewissen Grenze fortschreitendes Gerinnsel, das der Sitz des secundären Widerstandes ist, da der Strom sich hebt wenn es entfernt wird. In das Austrittsgefäfs verbreitet sich kein entsprechendes Gerinnsel. Mit Kochsalzlösung bleibt der Strom beständig.

§. IX. Vom äufseren secundären Widerstande bei Zuleitung des Stromes durch metallische Elektroden.

Ehe wir eine Erörterung dieser Thatsachen versuchen, wird es zweckmäfsig sein, unsere Versuche auch noch dahin abzuändern, dafs wir den Strom dem Eiweifs statt durch Elektrolyte, durch metallische Elektroden zuführen, um zu sehen, ob sich dabei gleichfalls secundärer Widerstand nachweisen lasse. Es wird darauf ankommen, ob wir in dieser Bemühung nicht durch die Polarisation allzusehr gehemmt werden, die, wenigstens bei den negativeren Metallen, jetzt auch gegen die elektromotorische Kraft der zwanziggliederigen Grove'schen Säule nicht mehr verschwinden dürfte.

Bringt man einen Eiweifscylinder mit seinen beiden Grundflächen zwischen Platinelektroden, die mit dieser Säule verknüpft sind, so sinkt unter lebhafter Gasentwickelung die Stromstärke rasch auf einen kleinen Bruchtheil ihrer Gröfse, während sich am Austrittsende ein Kegel in der oben S. 874 beschriebenen Art ausbildet, der aber hier eine eigenthümliche Beschaffenheit hat. Er besteht nämlich aus einer durchsichtigen, von vielen (Wasserstoff-) Blasen erfüllten, äufserst weichen Masse, die wie hartgesottenes Kiebitzeiweifs aussieht, und aufsen und innen stark alkalisch reagirt. Am Eintrittsende bewahrt das Eiweifs sein porzellanartiges Ansehen und fühlt sich härter an als in der Mitte, wo es unverändert bleibt; die harten Theile reagiren lebhaft sauer. Eine Würgung findet nicht statt. Legt man die Wippe um, so geht der Strom zuerst in einem Sprunge, dann aber so langsam in die Höhe, dafs es ganz so aussieht, als habe man

es mit dem Verschwinden secundären Widerstandes zu thun. Auf der Höhe verweilt der Strom nur einen Augenblick und sinkt dann wieder, und dieser Vorgang wiederholt sich so oft als man die Strömungsrichtung ändert, ohne daſs auch bei langer Dauer des Stromes in der der ursprünglichen entgegengesetzten Richtung, der Eiweiſscylinder seine Gestalt wieder annähme, geschweige ein Kegel an dem neuen Austrittsende sich bildete.

Sind die Platinoberflächen nur klein, wie es der Fall ist, wenn man Platindrähte als Elektroden einer fünf- bis zwanziggliederigen Säule in das Eiweiſs einsticht, so verlaufen die Erscheinungen, was die Schwankungen der Stromstärke betrifft, ähnlich, nur daſs das langsame Wachsen nach dem Umlegen vermiſst wird. Es fragt sich, ob dasselbe hier auf secundären Widerstand zu deuten sei. Es könnte nämlich auch dadurch, daſs sich der Polarisationsstrom plötzlich, statt sich vom ursprünglichen Strom abzuziehen, dazu hinzufügt, des letzteren thermische Wirkung wachsen, und den Widerstand des Eiweiſses herabsetzen. Inzwischen ist erstens die Schwächung des Stromes zu beträchtlich, um sie allein der Polarisation zuzuschreiben, zweitens der positive Ausschlag beim Umlegen nicht so groſs, wie er sein müſste, wenn diese Schwächung allein von Polarisation herrührte. Drittens endlich zeigt sich, daſs auch hier das Eintrittsende eine besondere Rolle bei der Schwächung des Stromes spielt, indem dem Abschneiden des zeitigen Eintrittsendes stets eine ungleich gröſsere Hebung des Stromes folgt als dem des zeitigen Austrittsendes. Hat man Platindrähte als Elektroden des geschwächten Stromes im Eiweiſs stecken, und zieht man die Kathode heraus um sie wo anders einzustechen, so bleibt Alles beim Alten. Verfährt man ebenso mit der Anode, so erreicht der Strom auf Augenblicke seine ursprüngliche Gröſse wieder. Dies zeigt um so sicherer, daſs es sich hier um äuſseren secundären Widerstand, und nicht um Polarisation handelt, als bei der Polarisation es bekanntlich gerade umgekehrt die Kathode ist, deren Erschütterung die Stromstärke wieder belebt [1]).

[1]) Die Literatur hierzu s. in meinen Untersuchungen über thierische Elektricität u. s. w. Bd. I. 1848. S. 212.

Mit Zinkelektroden folgt auf das Umlegen der Wippe, nachdem der Strom bis auf einen kleinen Bruchtheil geschwunden ist, keine Hebung der Stromstärke, sondern räthselhafterweise erneutes Sinken. Bei abermaligem Umlegen der Wippe (zur ursprünglichen Richtung) geht der Strom plötzlich in die Höhe bis etwa zu seiner anfänglichen Stärke, sinkt aber bald wieder eben so tief wie das erstemal. Ein drittes Umlegen hat wieder erneutes Sinken, ein viertes rasches Emporsteigen zur anfänglichen Höhe zur Folge, und so fort mit jedem ungeraden und jedem geraden Umlegen. Die äufseren Erscheinungen am Eiweifscylinder sind dabei dieselben wie mit dem Platin, der Kegel schien mir aber in derselben Zeit noch rascher zu wachsen als dort. Verquicktes Zink verhielt sich wie unverquicktes, Kupfer anfangs wie Zink, später mehr wie Platin.

Hier schliefsen sich einige Wahrnehmungen verwandter Natur an Bäuschen, statt an Eiweifs, an. Auf ein Kupferelektrodenpaar bringe man Bäusche mit gesättigter schwefelsaurer Kupferlösung getränkt, und verbinde sie mittels Fliefspapierstreifen, die mit derselben Lösung getränkt sind; oder man treffe die gleiche Anordnung mit verquicktem Zink und Zinklösung. In beiden Fällen glaubt man alle Bedingungen für die Beständigkeit des Stromes erfüllt zu haben. Mit nichten; bei zwanzig Gliedern im Kreise fast augenblicklich, noch bei fünf nach nicht allzulanger Zeit sieht man den Strom plötzlich bis auf einen kleinen Rest verschwinden. Legt man um, so stellt er sich im Nu wieder her, ohne dafs langsames Wachsen folgt, und das Sinken beginnt von Neuem, früher oder später, je nach der Stromstärke. Ähnlich wirkt Öffnen des Kreises während einiger Minuten. Die Besichtigung der Elektroden lehrt übrigens, dafs der galvanoplastische Procefs nicht ordentlich von statten gehe. Bei gleicher Stärke des Stromes ist seine Unbeständigkeit um so gröfser, je kleiner die Elektroden, je trockener die Bäusche und je fester sie den Elektroden anliegen. Nicht einmal wenn man die Elektroden mit darauf gebundenen Bäuschen in Gefäfse taucht, die ein Schliefsungsrohr überbrückt, oder wenn nur der einen ein Bausch anliegt, wird der Strom beständig. Nur der Theil desselben verhält sich so, der von den frei umspülten Kanten u. s. w. beider Metallplatten ausgeht.

Man sieht leicht, wie gefährlich diese Erscheinung in manchen Versuchen werden kann, wenn man nicht darauf vorbereitet ist. Dafs es sich dabei im Wesentlichen nicht um Polarisation handelt, geht abermals aus dem Betrage der Stromschwächung und der beim Umlegen stattfindenden positiven Wirkung hervor, dann aber, in diesem Fall, auch noch daraus, dafs dieselben Elektroden, von denselben Elektrolyten frei umspült, überhaupt keine hier in Betracht kommende Ladung annehmen. Die Erscheinung beurkundet sich vielmehr als dem Gebiete des secundären Widerstandes angehörig dadurch, dafs man durch verstärkten Druck auf den Eintritts-, nicht auf den Austrittsbausch, die Stromstärke auf Augenblicke wiederherzustellen vermag.

§. X. Zur Theorie des äufseren secundären Widerstandes.

Dies sind die wichtigsten Thatsachen, die ich über den äufseren secundären Widerstand ermittelt habe. Eine sichere Deutung desselben darauf zu gründen, mufs ich mich leider zur Zeit noch bescheiden.

Klar ist zunächst, dafs der Unterschied in dem Verhalten des Ein- und Austrittsendes, wie er sich uns beim Eiweifs, dem Knorpel u. s. w. zwischen Kupfersalzbäuschen dargeboten hat, zu bringen ist auf Rechnung jener überführenden, oder, wie ich sie gern nenne, kataphorischen Wirkung des Stromes, deren Bedeutung in diesem Gebiete mit jedem Tage wächst, seit Hr. Wiedemann sie der Vergessenheit entrissen und ihre Gegenwart überall da wahrscheinlich gemacht hat, wo der elektrische Strom in Capillar-Aggregaten eingeengte Elektrolyte ergreift. Sobald der Strom begonnen hat, von Bausch zu feuchtem porösen Körper, von diesem zu Bausch überzugehen, reifst er auch die Flüssigkeiten darin mit sich, und treibt die Kupferlösung des Eintrittsbausches in das Eiweifsprisma oder das Stück Rippenknorpel, das Wasser oder den Saft aus diesem in den Austrittsbausch hinein.

Es scheint beim ersten Blick, als müsse die Folge hiervon gerade das Umgekehrte vom äufseren secundären Widerstande

sein. Man sollte meinen, das mit der besserleitenden Kupferlösung durchdrungene Eintrittsende, und somit der ganze feuchte poröse Körper, müsse an Widerstand verlieren.

Es giebt aber noch etwas anderes zu bedenken. Die verschiedenen Elektrolyte unterliegen der Fortführung im Strom bekanntlich um so mehr, je schlechter sie leiten. Die Feuchtigkeit im Eiweifs wird also schneller nach dem Austrittsbausch zu wandern, als die Kupferlösung darin ihr Platz machen kann. Daher rührt die kegelförmige Anschwellung am Austrittsende, welche um so gröfsere Dimensionen annimmt, je länger der Strom, wie dies beim Kochsalz u. s. w. der Fall ist, ungeschwächt, oder gar durch die von ihm selber ausgehende Erwärmung des Eiweifses verstärkt, seine kataphorische Wirkung übt. Ebenso wird die Eiweifsfeuchtigkeit das Eintrittsende schneller räumen, als die Kupferlösung aus dem Eintrittsbausch ihr folgen kann. Daher mufs hier, an der Grenze beider Flüssigkeiten, eine an Wasser verarmte und deshalb geschrumpfte und hornig verhärtete Stelle entstehen, die sich aufsen als Würgung bemerklich macht. Die Würgung mufs, wie die Erfahrung lehrt, mit der Dauer des Stromes an Tiefe und Breite zunehmen, denn mit dieser Dauer mufs der Vorsprung wachsen, den die Eiweifsfeuchtigkeit vor der Kupferlösung gewinnt. Aber auch die Eiweifsstrecke zwischen der Grundfläche und dieser Stelle mufs, ganz wie wir es gefunden haben (s. oben S. 875), härter erscheinen als eine durch Diffusion entstandene, weil das Wasser aus dem Eiweifs vertrieben wurde, ehe die gesättigte Lösung eindrang, welche das Eiweifs nicht wie Wasser aufzuweichen vermag.

So weit scheint Alles deutlich, und was liegt näher, als folgendermafsen weiter zu schliefsen. Die an Wasser verarmte Strecke mufs nothwendig fast nichtleitend werden, und wirklich haben wir darin den eigentlichen Sitz des secundären Widerstandes erkannt. Die Würgung scheint also selber daran Schuld zu sein, dafs sie nicht weiter vorschreitet, sondern auf einer gewissen Stufe der Ausbildung und in einer gewissen Entfernung vom Eintrittsende stehen bleibt. Dies geschieht, wenn der Strom dadurch so geschwächt ist, dafs er den Widerstand nicht mehr zu überwinden vermag, der sich der Bewegung der Flüs-

sigkeiten im Eiweiſs entgegenstellt. Je kleiner übrigens der Querschnitt des Eiweiſsprisma's am Eintrittsende, um so schwächere Ströme werden dem Wasser über die Kupferlösung einen Vorsprung von gegebener Gröſse verschaffen, oder in um so kürzerer Zeit wird bei gleicher Stromstärke der gleiche Vorsprung erreicht werden. Hört der Strom auf, so zieht das getrocknete Eiweiſs rasch wieder Feuchtigkeit an. Darauf beruht die theilweise Wiederherstellung des Stromes durch das Öffnen der Kette. Legt man die Wippe um, so wird die ausgedörrte Scheibe durch die mit dem Strome wiederkehrende Feuchtigkeit des Eiweiſses bewässert, und der Strom geht schneller und viel weiter in die Höhe, ohne jedoch ganz die ursprüngliche Stärke wiederzuerlangen (s. oben S. 856. 873): denn in der That verändert die Würgung am alten Eintrittsende ihr Aussehen nur wenig unter dem Einfluſs des umgekehrten Stromes, während man sofort eine solche auch an Stelle der früheren Anschwellung am alten Austritts-, dem neuen Eintrittsende, entstehen sieht.

Mit dieser Theorie stimmt es zwar, daſs mit Salzlösungen getränkte balkenförmige Bäusche, als feuchte poröse Körper zwischen die Zuleitungsbäusche gebracht, keinen secundären Widerstand zeigen, insofern jene Lösungen etwa ebensoschnell wandern mögen, wie die Kupferlösung der Zuleitungsbäusche. Die neutrale chromsaure Kalilösung machte hiervon eine Ausnahme (s. oben S. 854); man müſste aber, um diesen Fall gehörig zu beurtheilen, erst noch mehr Versuche mit Lösungen angestellt haben, die mit Kupferlösung einen Niederschlag geben. Dagegen paſst es entschieden nicht zur Theorie, daſs geschlemmter Sand (s. oben S. 853) und Modellirthon keinen secundären Widerstand annehmen, daſs letzterer, ohne eine Spur davon zu zeigen, die Kupferlösung mit der Zeit zu einem anderen feuchten porösen Körper, etwa Eiweiſs, durch sich hindurch läſst, wo dann secundärer Widerstand erscheint. Auch paſst es nicht dazu, daſs das flüssige Eiweiſs, oder vielmehr das darin durch die Metallsalzlösung erzeugte Gerinnsel, secundären Widerstand giebt. Das Fortschreiten der Gerinnung im Rohr vom Eintrittsende her hat man sich dabei wohl so zu denken, daſs ursprünglich an der Berührungsfläche des Eiweiſses mit der Metallsalzlösung eine Schicht gerinnt, in der dann die kataphorische Wirkung vor

sich geht. Weshalb nicht dasselbe auch am Austrittsende stattfinde, mufs im Dunkel bleiben. Wie dem auch sei, man würde sich hier vergebens, scheint es, nach den Bedingungen umsehen, auf die wir die Theorie des äufseren secundären Widerstandes gegründet haben.

Und wirklich, wie wohlgelungen sie sich auch beim ersten Anblick ausnehmen mochte, in der Form, wie sie hingestellt wurde, ist die Theorie unhaltbar. Liefsen sich auch jene beide Schwierigkeiten wegerklären, sie fällt rettungslos vor der Thatsache, dafs es mehrere Flüssigkeiten giebt, welche besser leiten und daher langsamer wandern als Kupferlösung, und welche keinen secundären Widerstand geben, wohl aber die Würgung; und dafs es umgekehrt eine Flüssigkeit giebt, die Höllensteinlösung, bei der, trotz dem sehr starken secundären Widerstande, die Würgung vermifst wird. Die Würgung kann also ohne den secundären Widerstand, und dieser kann ohne jene bestehen. Da aber die Würgung, wo sie mit dem secundären Widerstande zusammen vorkommt, sich als dessen eigentlicher Sitz erweist, so mufs sie gleichwohl irgendwelche Beziehung dazu haben. Die Frage scheint nur zu sein, weshalb die Würgung bei gewissen Flüssigkeiten nichtleitend werde, bei anderen nicht.

Eine Musterung der Flüssigkeiten, welche secundären Widerstand geben und versagen, führt in dieser Hinsicht zu keinem Ergebnifs. Einen Augenblick glaubte ich, die Flüssigkeiten der letzteren Art seien vor denen der ersteren, wie die Kochsalzlösung vor der Kupferlösung, allgemein durch gröfsere Wassergier ausgezeichnet, und ich dachte mir den Zusammenhang so, dafs, wo kein secundärer Widerstand stattfinde, die durch den Strom getriebene Feuchtigkeit des Eiweifses die Lösung nach sich ziehe, und deshalb die Würgung immer hinreichend gut leite. Allein erstens giebt auch eine verdünnte Kochsalzlösung keinen secundären Widerstand, obschon sie noch immer viel besser leitet, oder langsamer wandert, als die Eiweifsfeuchtigkeit, während ihre Wassergier nur noch gering sein kann; für's Zweite hat, bei gröfserer Vervielfältigung der Versuche, die Vertheilung der Flüssigkeiten in solche die Widerstand geben und die ihn versagen, überhaupt nicht mehr

der kleineren und gröfseren Wassergier derselben entsprochen, wie denn unter die ersteren Flüssigkeiten auch die so höchst wassergierige Chlorzinklösung zu stehen gekommen ist.

Eine andere Bemerkung ist vielleicht thatsächlich besser begründet, allein für das Verständnifs ist damit nichts gewonnen. Die Sternchen bezeichnen nämlich unter den oben S. 878. 879 angeführten Flüssigkeiten die, welche in dem filtrirten Hühnereiweifs einen undurchsichtigen Niederschlag bewirken. Wie man sieht, sind merkwürdigerweise alle Flüssigkeiten, welche secundären Widerstand geben, solche, welche das Eiweifs fällen; doch stehen auch einige Flüssigkeiten der Art in der Reihe derer, welche secundären Widerstand versagen. Ich vermag keine Hypothese zu ersinnen, wodurch das Vermögen einer Flüssigkeit, das Hühnereiweifs undurchsichtig zu fällen, verknüpft würde mit dem, in Berührung mit dem geronnenen Eiweifs unter dem Einflufs des Stromes secundären Widerstand zu erzeugen. Um zu ermitteln, ob wirklich eine solche Beziehung stattfinde, würden vielleicht ähnliche Versuchsreihen mit Glutin und Chondrin einen Weg abgeben.

Was die Erscheinungen bei Anwendung metallischer Elektroden betrifft, so kann man die Unbeständigkeit des Stromes, wenn unpolarisirbare Elektroden nicht frei von dem Elektrolyten umspült sind, sondern dieser in den Capillarräumen eines Bausches seiner Beweglichkeit beraubt ist, zwar zunächst so auffassen, als verschliefse sich der Strom gleichsam selber die Thüre durch seine kataphorische Wirkung, indem er die an die Anode grenzende Lage des Bausches austrockene. Damit stimmt es, dafs Anpressen des Bausches an die Anode den Strom auf Augenblicke wiederherstellt. Unerklärt bleibt aber dabei, dafs der Strom auch unbeständig ist, wenn nur der Kathode ein Bausch anliegt. Man kann nur muthmafsen, dafs dabei Ähnliches vorgeht, wie wenn bei frei umspülten Elektroden deren eingetauchte Fläche zu klein im Verhältnifs zur Stromstärke ist. Bei dem Eiweifs wird der Vorgang noch dadurch verwickelt, dafs die von der Zersetzung der Salze des Eiweifses stammenden Anionen und Kationen sich in's Spiel mischen, wie sich dies in der Beschaffenheit des Ein- und Austrittsendes ausspricht. Dafs die kegelförmige Anschwellung sich hier nicht durch Umlegen der

Wippe von dem alten an das neue Eintrittsende verlegen läſst, rührt gewiſs davon her, daſs die alkalische Flüssigkeit nicht mehr hinlänglich der kataphorischen Wirkung gehorcht. Die Unregelmäſsigkeiten, welche die positiveren Metalle zeigen, bleiben vollends räthselhaft.

Unter solchen Umständen gebrach es mir vor der Hand an jedem Fingerzeig, um diese Untersuchung zu gutem Ende zu führen, und ich habe um so mehr geglaubt, dieselbe auf sich beruhen lassen zu dürfen, als mit der Einsicht, daſs der äuſsere secundäre Widerstand auf einer rein örtlichen Wirkung an der Grenze der zuleitenden Theile der Vorrichtung und der feuchten porösen Körper beruht, die Erscheinung überhaupt das allgemeine Interesse eingebüſst hat, das ihr anfangs zuzukommen schien. Nun löst sich das Problem, welches sich uns darin darbot, zu ebensovielen Einzelaufgaben mehr untergeordneter Art auf, als sich Zusammenstellungen von Elektrolyten denken lassen, womit man die Bäusche und den porösen Körper tränken kann. Es ziehen uns unter diesen Aufgaben nur noch diejenigen an, deren Behandlung verspricht, zugleich die Bedingungen der elektrophysiologischen Versuche unmittelbar aufzuklären. Ich habe mich deshalb auch nicht weiter bemüht, die Art und Weise zu zergliedern, wie der äuſsere secundäre Widerstand am Eintrittsende anderer feuchter poröser Körper entsteht.

Nur über den äuſseren secundären Widerstand, den mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Bäusche zwischen den gewöhnlichen Zuleitungsbäuschen annehmen (s. oben S. 854), habe ich noch Versuche angestellt. Ich dachte mir nämlich, im Sinne der obigen Theorie, daſs hier, wo der Elektrolyt im feuchten porösen Körper besser leitet, also langsamer wandert, als der in den Bäuschen, der äuſsere secundäre Widerstand seinen Sitz statt am Eintritts- vielmehr am Austrittsende haben werde. Ich führte deshalb den Strom der Säule einem balkenförmigen Schwefelsäure-Bausch durch Keilbäusche zu, und rückte, nachdem der Strom sich selbst so stark wie möglich geschwächt hatte, bald den Eintritts-, bald den Austrittsbausch, und zwar jeden derselben bald nach Innen, bald nach Auſsen von der Stelle. Das Verrücken beider Bäusche nach Auſsen brachte eine Schwächung, das Verrücken beider nach Innen eine Verstärkung des Stromes

hervor, allein die Stromveränderung, welche dem Verrücken des Eintrittsbausches entsprach, übertraf in beiden Fällen die, welche dem des Austrittsbausches folgte. Jene Voraussicht fand sich also nicht bestätigt, und auch hier erscheint, wie schon oben S. 857. 858 gezeigt wurde, das Eintrittsende als der Sitz des secundären Widerstandes. Inzwischen ist wohl der Vorgang hier ein ganz anderer als beim Eiweifs. Offenbar hatte der Schwefelsäurebausch in der ganzen Umgebung des Eintrittsbausches, d. h. auch nach Aufsen von demselben, wo gar kein Strom hingelangt, einen gröfseren Widerstand angenommen, als in der des Austrittsbausches. Ich vermuthe, dafs dies von der thermischen Wirkung des Stromes herrührt. Der ganze Bausch wird nämlich sehr heifs, und man sieht demgemäfs den Strom anfangs stets erst eine Zeit lang ansehnlich wachsen, bis die Stromabnahme erfolgt, die wir als Entwickelung äufseren secundären Widerstandes aufgefafst haben. Das vom Eintrittsbausch aus in den Schwefelsäurebausch eindringende Kupfersalz krystallisirt daselbst aus, verklebt die Lagen des Bausches mit einander und überzieht seine Oberfläche mit einem weifslichen Anfluge. Dies trockene Salz scheint es mir zu sein, welches den äufseren secundären Widerstand im Fall des Schwefelsäurebausches bedingt.

Ob der oben S. 876 erwähnte muthmafsliche Temperaturunterschied des Ein- und Austrittsendes nicht vielleicht auch eine Rolle bei der Erzeugung des äufseren secundären Widerstandes spiele, mufs ich dahingestellt sein lassen.

§. XI. Noch Einiges über den inneren secundären Widerstand.

Wir sind jetzt aller Wahrscheinlichkeit nach in den Stand gesetzt, unserer Kenntnifs des inneren secundären Widerstandes noch Einiges hinzuzufügen. Das Mittel dazu wird uns in Aussicht gestellt durch die Entdeckung der Möglichkeit, feuchten porösen Körpern den Strom zuzuführen, ohne dafs der äufsere secundäre Widerstand sich einmische. Beim Eiweifs wird dies, wie wir gefunden haben, dadurch erreicht, dafs man es von der Kupferlösung der Zuleitungsbäusche durch Kochsalz-Hülfsbäusche trennt. Es steht aber zu vermuthen, und findet sich glücklicherweise bestätigt, dafs dieselbe Anordnung uns auch in Be-

zug auf ähnliche feuchte poröse Körper den gleichen Dienst leisten werde.

Bringt man zwischen jene Hülfsbäusche ein Prisma aus einer gekochten Kartoffel geschnitten, oder einen gekochten Begoniastiel, so zeigt sich in der That, dafs der äufsere secundäre Widerstand beseitigt ist. Die Ablenkung erscheint wegen der thermischen Wirkung des Stromes in stetigem Wachsen begriffen, und erreicht erst spät einen beständigen Werth. Legt man um, so kommt das Scalenbild sehr nahe in derselben Lage, meist in etwas gröfserer Ablenkung, wieder zur Ruhe; langsames Wachsen findet nicht statt. Stellt man den gleichen Versuch mit den frischen Gewebetheilen an, so sinkt die Ablenkung sofort, und nähert sich allmählig einer unteren Grenze, wie vorher einer oberen. Dem Umlegen folgt langsames Wachsen bis zu einem gewissen Punkte, dann erneutes Sinken, u. s. w. Es ist kein Grund vorhanden, anzunehmen, dafs an der Grenze der frischen Pflanzengewebe und der Kochsalzlösung sich secundärer Widerstand einstelle, wenn dies nicht mit den gekochten der Fall ist. Überdies läfst sich dessen Ausbleiben so darthun, dafs man den Strom durch Keilbäusche zuführt und zeigt, wie das Verrücken weder des Ein- noch des Austrittsbausches anders auf die Stromstärke wirke, als durch Veränderung der Länge der zwischen beiden begriffenen Strecke. Die Schwankungen, die der Strom in den frischen Pflanzengeweben zwischen Kochsalzlösung zeigt, sind also nur zu erklären durch einen inneren secundären Widerstand dieser Gewebe, dessen Dasein somit versprochenermafsen (S. oben S. 864) noch auf einem vierten Wege beglaubigt ist.

Bei dieser Versuchsweise hat man Gelegenheit zu bemerken, was wegen des äufseren secundären Widerstandes früher nicht sicher anging, dafs die Schwankungen des Stromes in Folge des inneren secundären Widerstandes, je länger man sie beobachtet, um so kleiner werden.

Jetzt kann es keine Schwierigkeit mehr haben, die Frage nach dem Einflufs der Stromdichte auf diesen Widerstand, die uns oben S. 869 ff. vergeblich beschäftigte, zu erledigen. Man braucht dazu nur zwischen die Kochsalz-Hülfsbäusche abwechselnd ein Kartoffelprisma von grofsem, und ein solches von kleinem

Querschnitt zu bringen, indem man zugleich dafür sorgt, dafs die ursprüngliche Stromstärke in beiden Fällen die gleiche, oder mit dem dickeren Prisma etwas gröfser sei als mit dem dünneren. Fallen alsdann die Schwankungen der Stromstärke mit dem dickeren Prisma absolut kleiner aus als mit dem dünneren, so kann dies nur daher rühren, dafs der dichtere Strom in letzterem einen stärkeren inneren secundären Widerstand entwickelt. Ich habe diesen Erfolg mehrmals deutlich beobachtet, wobei ich es bequem fand, gewissermafsen als Rheostat, um damit die Stromstärke beständig zu erhalten, einen Stab aus Modellirthon zwischen Bäuschen im Kreise zu haben, dessen Dimensionen sich leicht jeden Augenblick ändern lassen.

Wie schon oben S. 864 bemerkt wurde, ist gegen den bis jetzt gelieferten Beweis der Abwesenheit des inneren secundären Widerstandes in vielen feuchten porösen Körpern einzuwenden, dafs dieser Beweis mittels eines Stromes geführt wurde, der durch den äufseren secundären Widerstand sehr geschwächt war. Immer würde ein bedeutender Unterschied in dieser Beziehung zu Gunsten der frischen Pflanzengewebe bestehen bleiben. Denn diese Gewebe leiten um so viel schlechter als z. B. das Eiweifs, dafs der durch den äufseren secundären Widerstand auf das Äufserste geschwächte Strom in einem Eiweifsprisma noch immer eine gröfsere Dichte besitzt als in einem Kartoffelprisma von gleichen Mafsen. Allein es wäre möglich, dafs mit Kochsalz-Hülfsbäuschen sich jetzt Spuren des inneren secundären Widerstandes da entdecken liefsen, wo sie mit den Kupfersalz-Zuleitungsbäuschen vermifst wurden.

Bei den gekochten Pflanzengewebetheilen ist dies indefs nicht eingetroffen, und ebensowenig bei dem Eiweifs, in Bezug worauf der entscheidende Versuch sich schon oben S. 877 angestellt findet. Ist ein Eiweifsprisma zwischen Kochsalz-Hülfsbäuschen dem Strom ausgesetzt, so folgt dem Umlegen der Wippe kein langsames Wachsen; also ist kein innerer secundärer Widerstand da. Dies ist nämlich die Gestalt, welche jetzt hier der Umkehrversuch annimmt, der oben S. 863. 864 als für das Dasein des inneren secundären Widerstandes entscheidend erkannt wurde, indem bei der Geringfügigkeit der inneren Polarisation das Bedenken nicht stattfand, dem wir oben S. 881,

wo es sich um Polarisation metallischer Elektroden handelte, allerdings Gehör geben mufsten. Man kann aber auch, wenn man vollends sicher gehen will, den Umkehrversuch in seiner ursprünglichen Form beibehalten. Auf beiderlei Art habe ich mich überzeugt, dafs auch unter dem Einflufs des durch äufseren secundären Widerstand ungeschwächten Stromes der zwanziggliederigen Grove'schen Säule Sehne, Rückenmark und Muskelfleisch vom Rinde, letzteres längs der Faser sowohl als senkrecht darauf durchströmt, keinen inneren secundären Widerstand annehmen.

Nun aber erhebt sich eine Frage von wesentlichem Interesse. Die Pflanzengewebe büfsen durch das Kochen die Empfänglichkeit für den secundären Widerstand ein. Das todte Holz, die im Papier und der Pappe verarbeitete Pflanzenfaser nehmen keinen solchen Widerstand an. Die thierischen Gewebe, die wir bisher darauf geprüft haben, waren zwar so frisch, wie man sie aus dem Schlachthause bekommen kann, da sie aber von Warmblütern stammten, unstreitig als todt anzusehen. Es ist also die Möglichkeit da, dafs thierische Gewebe, die noch im Besitz ihrer Lebenseigenschaften verharren, jenes Widerstandes fähig seien. Unterstützt wird diese Vermuthung durch die Wahrnehmung, dafs Muskeln, ganz wie Kartoffeln und Begoniastiele, durch Kochen sehr an Leitungsgüte zunehmen. Obwohl es vielleicht nicht unthunlich wäre, Versuche über den inneren secundären Widerstand an lebenden Warmblütern, ja am Menschen selbst, anzustellen, habe ich mich in dieser Rücksicht bisher auf die uns zunächst angehenden Muskeln und Nerven des Frosches beschränkt.

Das beste Versuchsobject, was die Muskeln betrifft, wird durch die Gruppe der beiden ziemlich parallel-faserigen starken Muskeln des Oberschenkels, des *Adductor magnus* und *Semimembranosus* Cuv., geboten. Man läfst dem oberen Ende der Gruppe die Symphyse, dem unteren das obere Ende der Tibia, und spannt die Muskeln in der früher [1]) von mir beschriebenen kleinen Spannvorrichtung wagerecht so stark aus, dafs bei

---

[1]) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 67. Taf. I. Fig. 86. 87.

Zuckungen keine in Betracht kommende Verschiebung der Muskeloberfläche an den ihr anzulegenden Kochsalz-Keilbäuschen stattfinden kann. Es ist deshalb zweckmäfsig, den zwischen dem *Adductor magnus* und dem *Semimembranosus* gelegenen, aus zwei kurzen Köpfen bestehenden *Semitendinosus* Cuv. zu entfernen. Denn wenn man den langfaserigen beiden anderen Muskeln die obenbezeichnete Spannung ertheilt, läuft man Gefahr, den *Semitendinosus* so stark zu spannen, dafs er entweder rasch abstirbt [1]), oder gar zerreifst. Die Schneiden der Keilbäusche bekleidet man, um das Anätzen zu verhindern, mit Rücksicht auf die lange Dauer der Versuche, mit doppelten Eiweifshäutchen. Man legt der Muskelgruppe die Schneiden innerhalb der Elfenbeinplatten der Spannvorrichtung, und letzteren so nahe wie möglich an. Dazu ist es vortheilhaft, dem Keilbausch auf dem Zuleitungsbausch die umgekehrte Lage von der gewöhnlichen zu geben, wie sie Fig. 1 (s. oben S. 849) zeigt, nämlich die, wobei die Abschrägung des Keiles nicht nach der hinteren, sondern nach der vorderen Seite des Zuleitungsbausches sieht. Zwischen den Kochsalz-Keilbäuschen des Hauptstromes legt man der anderen Seite der Muskelgruppe die gleichfalls mit doppelten Eiweifshäutchen bekleideten Schneiden der mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung getränkten Keilbäusche der Hülfskette an.

So kann man nunmehr mit den lebenden Muskeln die nöthigen Versuche anstellen, um zu erfahren, ob sich in deren Innerem secundärer Widerstand entwickele, oder nicht. Es zeigt sich, dafs der Hauptstrom, abgesehen von der thermischen Verminderung des Widerstandes, beständig bleibt, er stamme von fünf oder von zehn Grove'schen Gliedern, welche hier, wegen des kleineren Querschnittes, gewifs eine gleiche Dichte erzeugen, wie zwanzig in den bisherigen Versuchen. Umlegen bringt, bei nur kleiner Gliederanzahl der Säule, einen leichten positiven Ausschlag hervor, der von innerer Polarisation herrührt, und dem kein langsames Wachsen folgt. Den Hülfsstrom findet man, unter Berücksichtigung der inneren Polarisation (s. oben S. 860. 861) und der Erwärmung der Muskeln

---

[1]) Ebendas. S. 70.

durch den Hauptstrom, nach dem Durchgang des letzteren so stark wie vorher. Nach dem Öffnen des Hauptstromes steigt der Hülfsstrom nicht an. Ob der Hauptstrom in den Muskeln auf- oder absteige, oder quer durch eine gröfsere Muskelmasse, z. B. durch die Dicke der beiden Oberschenkel, fliefse, ist für den Erfolg gleichgültig. Nach den Versuchen waren meist die Muskeln noch zuckungsfähig.

Was die Nerven betrifft, so ist man natürlich an die Ischiadnerven gewiesen. Man bereitet sich rasch acht derselben, legt sie mit ihren centralen und ihren peripherischen Enden zusammen, so dafs sie ein Bündel bilden, welches der Austrocknung hinreichend lange widersteht, und spannt sie wagerecht zwischen zwei an einem Glasstabe verschiebbaren, passend geformten Korkstücken aus, auf deren Oberfläche man sie mit Insectennadeln feststeckt. Dann legt man ihnen ganz wie den Muskeln die beiden Paare von Keilbäuschen an. Der Erfolg ist der nämliche, wie bei den Muskeln, nur dafs die Störungen durch die innere Polarisation minder fühlbar sind.

Es ergiebt sich also schliefslich, dafs die Muskeln und Nerven den inneren secundären Widerstand im Leben so wenig wie im Tode in merklichem Grade annehmen, und die frischen Pflanzengewebetheile sind nach wie vor die einzigen feuchten porösen Körper, die uns denselben gezeigt haben.

§. XII. Was sich zur Zeit über die Natur des inneren secundären Widerstandes sagen lasse.

Es würde übrig bleiben über die Natur der Erscheinung, wenn es angeht, eine Vermuthung aufzustellen. Leider sind uns die Flügel hier noch viel mehr als beim äufseren secundären Widerstande beschnitten.

Zunächst nämlich ist zu bemerken, dafs das Mikroskop in den dem Strome der zwanziggliederigen Grove'schen Säule unterworfenen Pflanzengeweben durchaus keine Veränderung zeigt, die als Ursache des secundären Widerstandes zu deuten wäre. Ich habe vergeblich danach gesucht bei der Kartoffel, der Mohrrübe, der Petersilienwurzel und dem Begoniastiel. Das Einzige, was sich darbietet, ist gelegentlich die merkwürdige, von Hrn. Jürgensen beschriebene Bewegung fester Theilchen in der

dem Strom entgegengesetzten Richtung[1]). Ich habe dieselbe namentlich in sehr auffallender Weise an den Stärkekörnchen im Inneren der Kartoffelzellen gesehen, welche, wo sie hinreichend lose lagen, mit der vollkommensten Regelmäfsigkeit, sobald der Strom geschlossen wurde, sich an die Eintrittswand drängten, sobald er umgelegt wurde, sich nach der neuen Eintrittswand begaben, kurz mit der Wippe, so zu sagen, hin und her pendelten; so dafs man so gewifs, wie aus der Ablenkung der Magnetnadel, die Richtung des negativen Stromes aus seiner anaphorischen Wirkung auf die festen Theilchen würde bestimmen können.

Hier also gebricht es uns von vorn herein an jedem Anhaltspunkt, um daran eine Erklärung der Erscheinung zu knüpfen. Man kann nun zwar leicht mehrere Vermuthungen darüber aufstellen, wie der Strom innerhalb eines feuchten porösen Körpers einen Widerstand hervorrufen könne. Man kann sich z. B. den inneren secundären Widerstand als in dem nämlichen Verhältnifs zur inneren Polarisation denken, wie den Übergangswiderstand an der Grenze metallischer Elektroden zur Polarisation dieser letzteren. Ich erwähne diese Hypothese nur, weil sie mich zu einer Zeit, wo ich noch nicht im Stande war ihre Unhaltbarkeit zu durchschauen, zu einem Versuch veranlafste, dessen nutzlose Wiederholung, wenigstens in derselben Form, ich gern Anderen ersparen möchte.

Ich tränkte eine ansehnliche Masse Platinschwamms, deren Benutzung ich der Güte des Hrn. Dr. Quincke verdankte, mit destillirtem Wasser, ferner Holzkohle mit derselben Flüssigkeit oder mit Kochsalzlösung, setzte sie in passender Weise einem starken Strom aus, in dessen Kreise sich die Bussole befand, und versuchte ob es gelingen werde, beim Umkehren des Stromes in den feuchten porösen Körpern, langsames Wachsen der Stromstärke zu beobachten. Dies wäre unter gewissen Voraussetzungen zu deuten gewesen auf Verschwinden des Übergangswiderstandes, und hätte für das Dasein eines solchen einen mehr unmittelbaren Beweis abgegeben, als die bisher vorhandenen.

---

[1]) Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv für Anatomie und Physiologie u.s.w. 1860. S. 673.

Ich bekam aber mit Sicherheit nichts zu sehen, als die gewaltigen Wirkungen der gewöhnlichen Polarisation.

Jene Hypothese scheitert, wie jetzt leicht ersichtlich, erstens an dem Mangel an Proportionalität zwischen innerer Polarisation und innerem secundären Widerstande, zweitens daran, daſs dieser Widerstand bis jetzt nur am frischen Pflanzengewebe beobachtet ist. Letzterer Umstand bricht überhaupt den Stab allen solchen Vermuthungen hinsichtlich des inneren secundären Widerstandes, die auf beliebige, mit Elektrolyten getränkte Capillar-Aggregate passen. Es ist vielmehr klar, daſs es hier zunächst einer Annahme bedarf, wodurch wenigstens diese Art feuchter poröser Körper vorweg ausgeschlossen werde. Eine solche Annahme würde jetzt z. B. sein, daſs der innere secundäre Widerstand auf der häufigen Wiederholung der Bedingungen des äuſseren secundären Widerstandes im Inneren eines Körpers beruhe, insofern man nämlich als allgemeinste Vorbedingung des äuſseren secundären Widerstandes irgend welche Discontinuität der Leitung hinstellen kann. Allein es möchte schwer sein, in den frischen Pflanzengeweben eine sich oft wiederholende Discontinuität der Leitung zu entdecken, welche sich erstens auch nur einigermaſsen dem vergleichen lieſse, was wir zur Erzeugung des äuſseren secundären Widerstandes als nöthig erkannt haben, und welche sich zweitens nicht auch in den des inneren secundären Widerstandes unfähigen Thiergeweben nachweisen lieſse.

Der Fingerzeig endlich, den man darin hätte sehen können, daſs die Pflanzengewebe, wenn sie durch das Kochen die Fähigkeit einbüſsen, inneren secundären Widerstand anzunehmen, zugleich besser leitend werden, hat seine Bedeutung dadurch verloren, daſs auch die Muskeln durch das Kochen an Leitungsgüte gewinnen, ohne darum im Zustande des Lebens des inneren secundären Widerstandes fähig zu sein.

§. XIII. Anwendung der Erfahrungen über den secundären Widerstand auf die elektrophysiologischen Versuche.

Doch kümmert uns der schlechte Erfolg dieser theoretischen Bemühungen für jetzt nicht. Für uns ist, was den secundären Widerstand betrifft, Alles damit gewonnen, daſs wir die Muskeln

und Nerven von dem Verdacht gereinigt haben, damit behaftet zu sein. Es wäre dadurch, bei unzähligen Gelegenheiten, den thierisch-elektrischen und elektrischen Reiz-Versuchen eine Verwickelung mehr aufgebürdet worden, der wir nun glücklich überhoben sind.

Um so mehr Beachtung verdient bei manchen dieser Versuche der äufsere secundäre Widerstand. Gleich den todten Geweben der Warmblüter sind die lebenden Muskeln und Nerven des Frosches dafür empfänglich; ja die Kleinheit der Flächen, die sie stets nur der Berührung bieten, läfst sie sogar in hohem Grade so erscheinen.

Wird der Strom von zehn bis zwanzig Grove'schen Gliedern durch mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkte Keilbäusche der wie oben S. 892 aufgestellten Muskelgruppe zugeführt, so findet man ihn fast unmittelbar nach der Schliefsung in raschem Sinken begriffen, und es bleibt zuletzt nur wenig davon übrig. Wo der Eintrittsbausch den Muskeln anlag, bemerkt man eine blaugrüne, verhärtete Stelle, die der Würgung beim Eiweifs entspricht. Eiweifshäutchen wie Thonschilder sind unvermögend dem Sinken Einhalt zu thun. Unter dem Einflufs des Stromes durchdringt das Salz bald den Thon, die Eiweifshäutchen aber werden, wie sich erwarten liefs, selber ein Sitz secundären Widerstandes. Rückt man am Eintrittsbausch, oder entfernt man dessen Eiweifshäutchen, so bleibt Alles beim Alten. Rückt man am Austrittsbausch, so erfolgt eine Hebung der Stromstärke, jedoch nur um einen Theil des Verlustes, den sie durch Entwickelung des secundären Widerstandes erlitt. Ihren ursprünglichen Werth erlangt sie erst wieder, mit anderen Worten, der übrige Theil des secundären Widerstandes wird erst beseitigt, wenn man den Eintrittsbausch, indem man ihn verrückt, zugleich von seinen Eiweifshäutchen befreit.

Noch mit nur drei Grove'schen Gliedern erfolgen diese Erscheinungen, nur minder scharf ausgeprägt, langsamer verlaufend, und nicht selten in der Art unregelmäfsig, dafs nur wenn der eine Bausch dem Strome zum Eintritt dient, secundärer Widerstand erscheint, bei der anderen Richtung nicht, ein Verhalten, welches wir beim Eiweifs künstlich zu erzeugen vermochten (s. oben S. 873). Mit zwei Gliedern sind nur noch Spuren

vom secundären Widerstande da, mit einer einfachen Kette ist der Strom beständig, wenn man von der inneren Polarisation absieht.

Ganz ähnliche Erfolge beobachtet man an den Nerven; wenn dieselben gleiche Länge mit den Muskeln haben, wegen ihres geringeren Querschnittes, trotz der kleineren Berührungsflächen, jedoch erst bei gröfserer Gliederzahl der Säule. Endlich die schwefelsaure Zinkoxydlösung verhält sich auch hier, wie wir dies schon beim Eiweifs erfahren haben, gleich der Kupferlösung.

Aus diesen Thatsachen fliefst die wichtige Regel, dafs wenn man Muskeln oder Nerven beständige Ströme von einiger Stärke zuzuführen wünscht, man bei Gefahr, secundären Widerstand zu erwecken, und ganz abgesehen von der der Anätzung, die thierischen Theile nicht unmittelbar mit der Metallsalzlösung der unpolarisirbaren Combination berühren darf, deren man sich zur Zuleitung bedient. Ebensowenig darf man sich den mit solchen Lösungen getränkten Bäuschen anvertrauen, nachdem dieselben mit Eiweifshäutchen bekleidet sind. Nicht einmal auf die von Hrn. Pflüger[1]) angegebenen Eiweifsröhren in der Form, wie er sie angewendet hat, dürfte unbedingter Verlafs sein. Das Gerinnsel, welches sich an der Grenze des Eiweifses und der Metallsalzlösung bildet, kann, wie wir oben S. 879. 880 gesehen haben, der Sitz eines sehr ansehnlichen secundären Widerstandes werden.

Durch diesen Umstand würde die Anwendbarkeit der unpolarisirbaren Elektroden eine sehr empfindliche Beschränkung erleiden, wenn nicht die vorigen Untersuchungen uns auch sogleich das Mittel böten, demselben erfolgreich zu begegnen, freilich auf Kosten der Einfachheit der Anordnung. Dies Mittel haben wir bereits oben S. 892 in Gebrauch gezogen. Es besteht darin, die thierischen Theile oder das sie vor der Anätzung schützende Eiweifs, es möge nun aufgeweichte Blase befeuchten oder in Röhren enthalten sein, von der Metallsalzlösung der unpolarisirbaren Combination durch eine Schicht

---

[1]) Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859. S. 98 ff.

einer der Salzlösungen zu trennen, die wir oben S. 879 als unfähig erkannt haben, in Berührung mit den Thiergeweben und mit Eiweiſs secundären Widerstand zu erzeugen, am bequemsten von Kochsalzlösung.

Auf dem mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung getränkten Zuleitungsbausch der verquickten Zinkgefäſse wird also, um Muskeln oder Nerven den Strom mehrerer Grove'schen Glieder ohne Besorgniſs vor Störungen durch den secundären Widerstand zuzuführen, ein mit Eiweiſshäutchen bekleideter Kochsalz-Keilbausch anzubringen sein. Man trennt ihn von dem Zuleitungsbausch, um diesen vor Verunreinigung zu schützen, durch einen mit Zinklösung getränkten Sicherheitsbausch und ein mehrere Millimeter dickes Blatt Modellirthon. Da auch verdünnte Kochsalzlösung, ja sogar Brunnenwasser, keinen secundären Widerstand giebt, und da ein geringer Unterschied in der Concentration der Kochsalzlösung der beiden Keilbäusche hier von keiner Bedeutung sein kann, so braucht dieselbe nicht gesättigt, sondern nur eben so concentrirt zu sein, wie es die Rücksicht auf die Leitungsfähigkeit des Kreises erheischt. Dies hat den Vortheil, einerseits die Anätzung der thierischen Theile, andererseits die Verunreinigung der Zinkbäusche, mehr zu verzögern, als dies beziehlich die Eiweiſshäutchen und die Thonschicht allein thun würden.

Die oben S. 893 beschriebenen Versuche genügen, um die gute Wirkung dieser Maſsregeln darzuthun. Bei Befolgung derselben bleibt, abgesehen von der inneren Polarisation und von der Verminderung des Widerstandes durch die thermische Stromwirkung, auch wohl durch das Eindringen der Salzlösungen in Thon und Eiweiſshäutchen, die Stromstärke beständig, selbst bei zwanzig Grove'schen Gliedern im Kreise, und bei noch so langer Dauer der Schlieſsung. Es zeigt sich somit auf doppeltem Wege, das eine Mal bei sehr schwachen Strömen und Metallsalz-Keilbäuschen, das andere bei beliebig starken Strömen und Kochsalzbäuschen, daſs die hier in Rede stehenden, uns vorzugsweise interessirenden Combinationen dem hartgesottenen Eiweiſs an Empfänglichkeit für den secundären Widerstand doch glücklicherweise nicht ganz gleichkommen.

Wo man grofse Widerstände nicht zu scheuen braucht, und deshalb die Pflüger'schen Eiweifsröhren anwenden kann, wird man das Eiweifs gleichfalls noch durch Kochsalzlösung von der schwefelsauren Zinkoxydlösung zu trennen haben, die jetzt wohl, in Verbindung mit verquickten Zinkelektroden, an Stelle der Kupferlösung mit Kupferelektroden treten wird, wie Hr. Pflüger sie anwendete. Dies wird, wenn man die Pflüger'sche Einrichtung sonst unverändert beibehalten will, einfach so geschehen können, dafs man das heberförmige, an beiden Enden mit Blase überbundene Rohr, welches einerseits in das weite Ende der Eiweifsröhren, andererseits in das die metallische Elektrode enthaltende Gefäfs mit der entsprechenden Metallsalzlösung taucht, statt gleichfalls mit dieser Lösung, mit Kochsalzlösung füllt. Es trifft sich dabei glücklich, dafs sogar die gesättigte Kochsalzlösung (Dichte 1,207) gut auf der gesättigten schwefelsauren Zinkoxydlösung (Dichte 1,441) schwimmt. In der Blase entsteht kein secundärer Widerstand; an der Grenze des Eiweifses und der Nerven und Muskeln kann dies doch wohl ebensowenig der Fall sein.

Bei den thierisch-elektrischen Versuchen, insofern es sich dabei nur um Ableitung der in den thierischen Theilen erzeugten Ströme, nicht zugleich um Erregung dieser Theile auf elektrischem Wege handelt, dürfte der äufsere secundäre Widerstand so wenig in Betracht kommen, als, wie wir jetzt wissen, der innere. Immerhin kann es als ein glücklicher Zufall erscheinen, dafs fast in allen bisherigen Versuchen eine zuleitende Flüssigkeit angewendet wurde, welche vollends den Verdacht auf eine Einmischung des secundären Widerstandes ausschliefst, die Kochsalzlösung. So z. B. giebt es eine räthselhafte Erscheinung, die bei den Versuchen mit künstlichem Querschnitt fortwährend auftritt, und die man, wenn nicht jener Umstand wäre, wohl geneigt sein könnte, dem secundären Widerstande zuzuschreiben. Dies ist die schwächende Wirkung, welche die zunächst an den Querschnitt grenzende Schicht nach kurzer Zeit auf den Strom ausübt, so dafs die Entfernung dieser Schicht eine bedeutende Hebung der Stromstärke bewirkt [1]. In der That entspricht,

[1]) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 714; — Bd. II. 1. Abth. 1849. S. 150. 283.

wie man sieht, in Bezug auf den Muskel- oder den Nervenstrom der künstliche Querschnitt dem Eintrittsende des durchströmten Eiweifsprisma's. Nach dem, was wir über den secundären Widerstand ermittelt haben, hat es jetzt kaum den Anschein, als ob dieser Muthmafsung noch irgend ein Werth beizulegen wäre. Ich habe mich ausdrücklich davon überzeugt, dafs der künstliche Querschnitt nicht etwa eine besondere Empfänglichkeit für den secundären Widerstand besitzt.

Der Kochsalz-Keilbäusche, der Pflüger'schen Eiweifsröhren mit der bezeichneten Abänderung, wird man sich bedienen, wo es immer geht, um den Nerven und Muskeln Ströme zuzuführen. Doch können Fälle eintreten, wo man, z. B. durch die räumlichen Verhältnisse einer Anordnung, genöthigt ist, metallische Elektroden anzuwenden. Alsdann liegt, um sowohl die ursprünglichen Ungleichartigkeiten, als die Polarisation, unschädlich zu machen, der Rathschlag nahe, bei so grofsen Widerständen im Kreise, dafs man die gewünschte Stromstärke erhält, so grofse elektromotorische Kräfte aufzubieten, dafs jene Störungen dagegen verschwinden. Wo es sich nur darum handelt, rasch vorübergehende Einwirkungen zu erzielen, so dafs man Inductionsschläge anwenden kann, ist dieser Rathschlag untadelhaft, da er nicht einmal die Unbequemlichkeit bedingt, die stets aus der Handhabung vielgliederiger Säulen erwächst, sondern nur gewisse Rücksichten wegen der unipolaren Zuckungen auferlegt. Sollen aber die Ströme anhaltend und zugleich beständig sein, so sind durch die Versuche, die wir oben mit Eiweifs zwischen verschiedenen Arten metallischer Elektroden angestellt haben, die Aussichten für diesen Fall sehr getrübt. Die Wiederholung dieser Versuche mit Nerven und mit Muskeln, die ich auf Korkstegen mittels Insectennadeln über verschiedene Elektrodenpaare, von Platin, Kupfer, Zink, verquicktem Zink, ausspannte, ergab unmittelbar, dafs an Beständigkeit des Stromes unter diesen Umständen nicht zu denken sei, und zwar nicht, wie man bisher glaubte, wegen der Ungleichartigkeiten oder der Polarisation, die man leicht gegen die elektromotorische Kraft der Säule verschwinden machen kann, sondern wegen des secundären Widerstandes. Bei den positiveren Me-

tallen stellen sich überdies leicht Unregelmäfsigkeiten gleich den oben S. 882 beschriebenen ein.

§. XIV. Über die Elektrodiffusion am erregbaren Muskel.

Bei den vorigen Versuchen drängte sich mir an den Muskeln fortwährend die merkwürdige Erscheinung auf, die kürzlich Hr. Kühne beschrieben hat[1]), und ich kann nicht umhin, hier schliefslich Einiges darüber zu sagen.

Wird ein dünner regelmäfsig gefaserter Froschmuskel, etwa der *M. sartorius,* über die Platin- oder Zink-Elektroden, oder über die Keilbausch-Schneiden einer fünf- bis zwanziggliederigen Grove'schen Säule ausgespannt, so sieht man nach der Schliefsungszuckung eine fluthende Bewegung, gleich einem Strömen des Muskelbündelinhalts, in der Richtung des positiven Stromes. Wellenartige Verdickungen kurzer Strecken einzelner Bündel oder Bündelgruppen laufen mit grofser Geschwindigkeit von der Anode zur Kathode. Diese Geschwindigkeit ist noch nicht gemessen, auch ist noch nicht ermittelt, welche Beziehung sie mit der Stromstärke verknüpfe. Die Bewegung ändert ihre Richtung augenblicklich mit der des Stromes. Hält man die Kette dauernd geschlossen, so wird die Bewegung schwächer und hört zuletzt ganz auf. Aufserdem sieht man bei der Schliefsung die Muskelmasse selbst scheinbar der Kathode zustürzen, bei der Öffnung davon zurückweichen, beim Umlegen von der einen zur anderen Elektrode hinfahren. Läfst man den Muskel zwischen metallischen Elektroden lange in derselben Richtung durchströmen, so findet sich da, wo er die Kathode berührte, eine gallertartige Anschwellung, während er nach der Anode zu verjüngt, dicht unterhalb derselben aber weifs und undurchsichtig erscheint.

In diesen dauernden Veränderungen, denen auch ein abgestorbener Muskel unterliegt, erkennt man leicht die vereinte Wirkung der kataphorischen Thätigkeit und der Elektrolyse wieder, wie wir ihr beim Eiweifs begegnet sind (s. oben S. 880. 887). Es fragt sich aber, was von jenen bald vorübergehenden Bewe-

---

[1]) Über das Porret'sche Phänomen am Muskel. Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv u. s. w. 1860. S. 542.

gungserscheinungen am noch erregbaren Muskel zu halten sei. Hr. Kühne fafst, wenn ich ihn recht verstehe, in seiner vorläufigen Mittheilung dieselben so auf, als sei das scheinbare Strömen während des Säulenschlusses der Ausdruck des Porret'schen Phänomens am Muskel. Er betrachtet die einzelnen Wellen, die von der Anode nach der Kathode laufen, als ebensoviele Überführungsacte, wodurch contractile Substanz an den negativen Pol befördert werde. Beim Öffnen kehre diese Substanz zurück, die Rückbewegung könne durch die überführende Kraft des entgegengesetzten Stromes unterstützt werden, u. s. f.

Ich kann dieser Deutungsweise meines geehrten Freundes nicht beistimmen. Von vorn herein ist dagegen zu sagen, dafs das scheinbare Strömen zu rasch geschieht, um die geringe Anschwellung an der Kathode als dessen Ergebnifs gelten zu lassen. Dann sieht man nicht, weshalb die kataphorische Wirkung stets nur einzelne Theile einzelner Bündel, anstatt gleichzeitig die ganze intrapolare Muskelmasse, ergreife; auch nicht, warum mit der Erregbarkeit zugleich die Bewegung aufhöre, da die gröberen physikalischen Verhältnisse dieselben bleiben, die bei der Überführung allein in Betracht kommen. Seit Hrn. Kühne's Mittheilung ist durch Hrn. Jürgensen bekannt geworden, dafs die festen Körper, unter anderen Froschblutzellen, statt wie die Elektrolyte mit dem positiven Strome, gegen denselben wandern. Danach ist zu erwarten, dafs auch die Disdiaklasten stromaufwärts wandern werden.

Ich habe mir, jedoch vergeblich, viel Mühe gegeben, eine mikroskopische Anschauung von dem Vorgange im Muskel bei jenem scheinbaren Strömen zu gewinnen. Am besten gelang mir dies noch am *Platysma myoïdes* des Frosches. Der Muskel war mit Blutserum befeuchtet und mit einem Deckgläschen zugedeckt. Die Vergröfserung wechselte von der 15- bis 500-fachen, die Zahl der Säulenglieder von fünf bis zwanzig. Der Strom wurde dem Muskel einerseits durch ein anhängendes Stück Kehlhaut, andererseits durch ein Stück des geraden Bauchmuskels zugeführt. Stets indefs stellten sich die Wellen nur als rasch über das Gesichtsfeld fliegende Schatten dar, und ich halte es für unmöglich das Verhalten der Querstreifen darin anders als etwa bei augenblicklicher Beleuchtung zu erkennen, was aber seine

grofsen Schwierigkeiten haben möchte. Hingegen ist es leicht, während das scheinbare Strömen noch fortdauert, an solchen Strecken der Bündel, die gerade ruhig liegen, sich zu überzeugen, dafs auch bei der ansehnlichen Stromdichte, wie zwanzig Grove'sche Glieder sie in dem kurzen und dünnen Platysma erzeugen, keine Bewegung der contractilen Substanz stattfindet. Hat das Strömen aufgehört, so erscheint das Gesichtsfeld vollends ruhig, da doch die Elektrodiffusion ihren Gang geht.

Ich habe auch Schnitte erstarrten Leimes, geronnenen Eiweifses, und Speckhaut von Pferdeblut wiederholt unter dem Mikroskop betrachtet, während ein lebhaftes Überführen durch sie hindurch stattfand, jedoch nichts von Bewegung darin unterscheiden können, als gelegentlich, z. B. an rothen und weifsen Blutzellen in Lücken der Speckhaut, das Jürgensen'sche Phänomen.

Meine Überzeugung ist demnach, dafs auch im erregbaren Muskel, wenn er der Sitz der kataphorischen Wirkung wird, nichts stattfinde als ein unsichtbarer Ortswechsel von Wassertheilchen in der Richtung des Stromes; unsichtbar weil nirgends die zum Unterscheiden einer sich verschiebenden Grenze nöthige optische Discontinuität eintritt. Das scheinbare Strömen halte ich für den Ausdruck örtlicher Zusammenziehungen einzelner Bündel oder Bündelgruppen, welche von der Anode zur Kathode laufen. Man könnte sich denken, dafs diese Zusammenziehungen an der Anode örtlich erregt werden, und sich nur scheinbar nach der Kathode hin ausbreiten, weil nach der anderen Richtung kein Muskel vorhanden sei. Diese Vermuthung trifft nicht zu. Bringt man die Kathode an dem einen Ende des Muskels, die Anode in der Mitte desselben an, so sieht man wohl in der an die Anode grenzenden extrapolaren Muskelhälfte ein heftiges Wogen der Muskelbündel, aber kein scheinbares Strömen wie in der intrapolaren Hälfte.

Was die Bewegungen im Augenblick des Schliefsens, Öffnens und Umlegens der Kette betrifft, so ist vor Allem zu erinnern, dafs es sich dabei nicht um die contractile Substanz allein handelt, sondern um den ganzen Muskel. Sarkolemma, Perimysium, Alles nimmt an der Bewegung Theil. Wenn man an zwei Punkten der intrapolaren Strecke in der Nähe der

Elektroden von unten her Fäden durch den Muskel zieht, die mit einem Knoten versehen sind, um das völlige Durchgleiten zu verhindern, jeden Faden über die benachbarte Elektrode zurückschlägt, und ihn an einem meiner Zuckungstelegraphen [1]) befestigt, so hebt sich beim Umlegen der Wippe stets die Fahne, woran der in der Nähe der neuen Anode befestigte Faden zieht. Steckt man durch den Muskel in gleichen Abständen eine Anzahl Borsten, oder bestreut man ihn mit einem farbigen Pulver, Rufs oder Drachenblut, so sieht man deutlich, wie sich beim Schliefsen der Muskel scheinbar nach der Kathode hinschiebt, beim Öffnen zurückprallt u. s. f.

Der erste Eindruck, den ich von dieser Erscheinung erhielt, war der, dafs der Muskel an der Kathode in örtlichen Tetanus gerathe. Da er zwischen seinen beiden Endpunkten ausgespannt ist, so mufs, wenn eine Strecke desselben sich verkürzt, der ruhende Theil ausgedehnt werden, und scheinbar sich nach dem Ort der Zusammenziehung hin verschieben, in Wirklichkeit aber dorthin gezogen werden. Ich glaubte um so mehr, dafs dies die richtige Deutung sei, als bereits Beobachtungen anderer Forscher vorliegen, wonach bei der unmittelbaren elektrischen Erregung des Muskels die Kathode eine bevorzugte Rolle spielen würde [2]). Allein jedenfalls sind die Dinge verwickelter. Verhielten sie sich nämlich einfach wie eben gesagt wurde, so müfste bei der Anordnung, wo die eine Elektrode die Länge des Muskels hälftet, wenn diese, statt wie vorher zur Anode, nunmehr zur Kathode gemacht wird, beim Schliefsen das Verschieben nach der Kathode hin, beim Öffnen das Zurückweichen von derselben in der extrapolaren wie in der intrapolaren Strecke stattfinden. Zu Anfang einiger Versuche schien mir dies auch wirklich der Fall zu sein; die Bewegung zu beiden Seiten der Kathode war beim Schliefsen ziemlich symmetrisch auf die Kathode zu, beim Öffnen davon fort gerichtet. Sehr bald aber konnte ich mir nicht abläugnen, dafs beim Schliefsen die Muskelmasse in der Richtung von der Anode zur Kathode über letztere

[1]) Dieselben sollen nächstens beschrieben und abgebildet werden.

[2]) Vergl. Kühne in Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv u.s.w. 1859. S. 632; — Myologische Untersuchungen. Leipzig 1860. S. 128. — A. v. Bezold in diesen Berichten, oben S. 760 ff.

fort wogte, und dafs beim Öffnen, als Rückschlag auf diese Bewegung, die extrapolare Muskelmasse nach der Kathode hinfuhr.

Eine vollständige Zergliederung dieser schwierigen Phänomene liegt hier nicht in meinem Plan. Ich will mir nur die Frage stellen, ob zwischen Bewegungen, wie sie eben beschrieben wurden, und der Elektrodiffusion, ein Zusammenhang für jetzt denkbar sei. Diese Frage mufs ich verneinen. Die Elektrodiffusion ist nicht an den Zustand des Lebens gebunden; sie hat mit Schliefsung und Öffnung nichts zu schaffen, sondern hält mit gleicher Stärke während des Säulenschlusses an. Die kataphorische Kraft haben wir bisher nur in Capillar-Aggregaten thätig gesehen, Elektrolyte vor sich hertreibend, denen eine benetzte Wand als Stützpunkt dient. Nichts berechtigt uns noch zu der Annahme, die eine völlige Umgestaltung unserer Vorstellungen über den elektrischen Strom bedingen würde, dafs derselbe hier die Masse des Muskels, gleich einem Balle, von der Anode zur Kathode werfe. Dazu kommt jetzt abermals die Jürgensen'sche Thatsache, welche auch deren Bedeutung sei, wonach die Substanz des Muskels, wenn der Strom ihr wirklich einen Anstofs ertheilte, im Gegensatz zum Wasser in seinen Poren, vielmehr zur Anode streben würde.

[illegible]

DER PHYSIK UND CHEMIE.

[illegible]

[illegible]

[illegible] und [illegible] Öffnung [illegible]
[illegible] [illegible].

[illegible] Ich will nur noch die
Frage [illegible] [illegible]
[illegible] Zusammenhang [illegible]
[illegible]. Diese Frage möchte ich [illegible]
[illegible]
Schließung und Öffnung nicht zu schaffen, [illegible]
[illegible]
Kraft haben wir bisher nur in kapillar Aggregaten [illegible]
[illegible]
[illegible]. Nichts bewahrt uns noch vor der Annahme,
die eine völlige Umgestaltung unserer Vorstellungen über den
[illegible] bedingen würde, daß [illegible] über die [illegible]
des Muskels, gleich einem Balle, [illegible]
[illegible] Thiere
[illegible]
des Muskels [illegible]
[illegible]
[illegible] würde.